

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 49 350.2

Anmeldetag: 23. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH,
Stuttgart/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zum anisotropen
Plasmaätzen eines Substrates, insbesondere eines
Siliziumkörpers

Zusatz: zu DE 102 09 763.1

IPC: H 01 L 21/3065

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Waller

EV332517514

10.10.02 Kut/Dm

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Vorrichtung und Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers

10

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum anisotropen Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, mit Hilfe einer Plasmaquelle nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

15

Beim anisotropen Hochratenplasmaätzen von Silizium mit möglichst hoher Maskenselektivität und möglichst guter Profilkontrolle, beispielsweise nach Art der DE 42 41 045 C1, ist es erforderlich, auf den Seitenwänden der zu ätzenden Strukturen eine stabile Passivierung aufbringen, die auf dem Ätzgrund der zu ätzenden Strukturen leicht und unter Erhalt der Maskenselektivität, d.h. durch einen Ioneneinfall mit geringem Energieeintrag pro Zeiteinheit, wieder abgetragen werden kann. Gleichzeitig ist es erforderlich, eine hohe Dichte an Ätzspezies zum Abtrag des Siliziums auf dem Ätzgrund bereitstellen.

20

25

Als Ätzspezies werden üblicherweise Fluorradikale aus fluorliefernden Ätzgasen wie SF_6 , NF_3 , ClF_3 , BrF_3 , usw. eingesetzt, welche in einem hochdichten Plasma aufgebrochen werden. Als Passivierspezies kommen vor allem teflonbildende Monomere aus Passiviergasen wie C_4F_8 , C_3F_6 oder anderen Fluorkohlen(wasser)stoffen mit vorzugsweise niedrigem Fluor-zu-Kohlenstoff-Verhältnis, z.B. 2:1 oder niedriger, in Frage, welche ebenfalls in einem hochdichten Plasma aufgebrochen werden.

30

Die teflonbildenden Monomere bauen einen Seitenwandschutzfilm auf, der einen Ätzangriff auf die Seitenwand verhindert und zur gewünschten Anisotropie der Ätzung führt, während ein gerichteter Ioneneinfall vor allem auf den Ätzgrund dafür sorgt, dass die teflonartigen Schutzfilme dort bevorzugt wieder abgebaut werden, so dass der Ätzgrund im Wesentlichen frei von dem

Schutzfilm bleibt, während die Fluorradikale als Ätzspezies die freiliegenden Siliziumflächen auf dem Ätzgrund ätzen.

Versucht man, einem Plasma gleichzeitig fluorliefernde Ätzgase und polymerbildende Passiviergase zuzuführen und diese darin aufzubrechen, um so gleichzeitig eine hohe Dichte an Ätzspezies und Passivierspezies zu generieren, so beobachtet man eine schädliche gegenseitige Beeinflussung und unerwünschte Rekombination beider Spezies, d.h. statt einem Aufbau von Polymerfilmen auf den Seitenwänden und einem effizienten Ätzen am Ätzgrund reagieren die Fluorradikale und die polymerisationsfähigen Teflonbildner zu gesättigten Fluorverbindungen, die gegenüber Silizium weitgehend inaktiv sind.

In US 5,498,312 ist in Inkaufnahme dieses Problems vorgeschlagen worden, eine besonders hohe Plasmadichte einzusetzen, um über eine hohe Dichte beider, an sich unverträglicher Spezies der unerwünschten Rekombinationsreaktion mit einer entsprechend höheren Produktionsrate beider Spezies zu begegnen. Dieser Ansatz führt jedoch, bezogen auf die erzielbare Si-Ätzrate pro kWatt Plasmaleistung, zu relativ ineffizienten Prozessen und ist problematisch hinsichtlich der Profilkontrolle und der dabei auftretenden Reaktorkontamination mit Polymeren, was vor allem durch den erforderlichen Überschuss an Passiviergas gegenüber dem Ätzgas verursacht wird.

Einen alternativen Lösungsansatz beschreibt US 6,303,512, wo Ätz- und Passiviergase eingesetzt werden, die besser verträglich zueinander sind. So wird dort als fluorlieferndes Ätzgas SF_6 oder ClF_3 eingesetzt, während die Passivierung unter Einsatz von Sauerstoff und Siliziumtetrafluorid durch Abscheidung eines SiO_2 -artigen Schutzfilms auf den Seitenwänden der zu ätzenden Strukturen erreicht wird. Fluorradikale und Sauerstoffradikale bzw. SiF_4 reagieren bzw. rekombinieren nicht untereinander, so dass Ätz- und Passiviergase problemlos als stationäres Gasgemisch eingesetzt werden können. Nachteilig ist dabei jedoch, dass die Seitenwandpassivierung durch vergleichsweise harte SiO_2 -artige Filme bewirkt wird, die einen erhöhten Energieeintrag durch gerichteten Ioneneinfall erfordern, um auf dem Ätzgrund durchbrochen werden zu können, was die Maskenselektivität stark senkt. Der Ätzprozess gemäß US 6,303,512 muss somit mit Rücksicht auf die Maskenselektivität grenzlastig betrieben werden, was das Risiko unerwünschter Ätzgrundrauigkeiten und sogenannter „Grasbildung“ erhöht. Die Passivierung mit Hilfe von SiO_2 hat zudem den Nachteil, dass Inhomogenitäten des Energieeintrags auf das geätzte Substrat weit stärkere Störeffekte nach sich ziehen als im Fall von teflonartigen Filmen.

Die DE 42 41 045 C1 löst das Problem der „unfriedlichen Koexistenz“ von Si-ätzenden Fluorradikalen und teflonartige Filme bildenden Monomeren dadurch, dass deren Erzeugung zeitlich getrennt wird bzw. alternierend erfolgt. Auf diese Weise werden während sogenannter „Passivierzyklen“ gebildete teflonartige Filme während nachfolgender, an sich isotroper „Ätzyklen“ wieder abgetragen und tiefer in den erzeugten Trenchgräben redeponiert, so dass eine lokale Schutzwirkung durch Verschleppung des Seitenwandfilms in die Tiefe der Trenchgräben entsteht. Problematisch ist dabei die eingeschränkte Plasmastabilität während der Gaswechsel, wo Impedanzänderungen im Plasma zu einer Fehlanpassung der eingekoppelten Hochfrequenz- oder Mikrowellenstrahlung führen können, was eine reflektierte Leistung bis hin zum Aussetzen der Plasmaentladung („Blinken“) zur Folge hat. Zudem sind mit diesem Verfahren im Einzelfall gelegentlich nicht völlig glatte Seitenwände der erzeugten Trenchgräben erreichbar, was beispielsweise für optische Applikationen mit Spiegelflächen nachteilig sein kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war, ausgehend von DE 42 41 045 C1, die Bereitstellung eines Verfahrens zur anisotropen Hochratenätzung eines Halbleitersubstrates wie Silizium mit Hilfe eines Plasmas sowie einer zu dessen Durchführung geeigneten Vorrichtung, mit dem die aus DE 42 41 045 C1 bekannten Nachteile wie zeitweilig damit verbundene Prozessinstabilitäten bzw. Transienten überwunden und stets möglichst glatte Seitenwände der erzeugten Trenchgräben ohne Wandriefelungen erreicht werden können.

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass auf einen ständigen Gaswechsel zwischen Ätzgas und Passiviergas in der Plasmaätzvorrichtung verzichtet werden kann, so dass damit verbundene Prozessinstabilitäten vermieden und insgesamt noch glattere Seitenwände der erzeugten Trenchgräben erzielt werden. Gleichzeitig bleiben die Vorteile des Verfahrens gemäß DE 42 41 045 C1 erhalten und die dazu entwickelten Prozessparameter und Anlagenkonfigurationen können, abgesehen von dem neu vorgesehenen Mittel zur Definition der Ätzgas- bzw. Passiviergaszonen, weitgehend weiter verwendet werden. Insofern ist die erfindungsgemäße Vorrichtung leicht in eine bestehende Anlage integrierbar und das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich ohne wesentlichen Investitionsaufwand und die Entwicklung völlig neuer Prozessparameter auf der Grundlage des Verfahrens gemäß DE 42 41 045 C1 weiterhin führen.

Besonders vorteilhaft ist, dass sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem zeitkontinuierlichen Prozess senkrechte und sehr glatte Ätzprofile insbesondere in Silizium bei sehr hohen Ätzraten erreichen lassen. Insbesondere sind damit optisch glatte Seitenwände herstellbar, wie sie für optische Komponenten wie Mikrospiegel benötigt werden. Gleichzeitig wird eine höhere Strukturierungsgenauigkeit bei verringertem "critical dimension loss" erreicht, was für zukünftige Mikrosensoren zunehmend wichtiger wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist vorteilhaft, wenn dem Ätzgas SF_6 , das die der Fluorradikalenerzeugung dienenden Ätzgaszonen durchströmt, ein gewisser Anteil Sauerstoff zugesetzt wird, wie dies in DE 198 26 382 C2 patentiert ist. Dieser Sauerstoffzusatz bewirkt keinen schädlichen Prozesseinfluss, sorgt jedoch dafür, dass Schwefelverbindungen zu SO_2 und ähnlichen flüchtigen Stoffen reagieren, anstatt sich als hochkettige polymerartige Schwefelschicht im Abgasbereich der Plasmaätzanlage auszuschcheiden.

Vorteilhaft ist weiter, insbesondere beim Einsatz von keramischen Materialien für den Kessel der Plasmaätzvorrichtung, wenn auch dem Passiviergas, das die der Erzeugung teflonbildender Monomere dienenden Passiviergaszonen durchströmt, eine geringere Menge an Sauerstoff zugesetzt wird, um darüber die Entstehung von Graphitpartikeln zu unterdrücken, die auf dem zu ätzenden Halbleitersubstrat, das in der Regel als Siliziumwafer ausgeführt ist, als schädliche Mikromasken wirken könnten. Damit der Sauerstoffanteil im Passiviergas prozessunschädlich bleibt, sind die dort eingesetzten Sauerstoffmengen in der Regel auf etwa 10 % bis 20 % des Sauerstoffwertes beschränkt, der dem Ätzgas zugesetzt wird oder werden kann. Bei Verwendung von Quarzglas oder einem anderen Glas als Kesselmaterial ist dieser Sauerstoffzusatz meist nicht erforderlich, da sich auf Glasoberflächen aufgrund des dort vorhandenen, chemisch gebundenen Sauerstoffes keine Graphitpartikel bilden.

Daneben ist besonders vorteilhaft, wenn die Plasmaätzvorrichtung in Kombination mit einem magnetischen Ionendiskriminator eingesetzt wird, wie er in DE 199 33 841 A1 und insbesondere der darauf aufbauenden Anmeldung DE 100 51 831 A1 beschrieben ist. Durch die dort erläuterte Technik der Einstellung von gegensinnigen Magnetspulenströmen unterhalb der eigent-

lichen Plasmaerzeugungszone bzw. Plasmaquelle werden besonders uniforme Ätzergebnisse über die gesamte Substratoberfläche erzielt. Darüber hinaus ist es bei dem im Rahmen der Erfindung bevorzugt eingesetzten induktiv gekoppelten Plasma vorteilhaft, wenn eine balancierte Speisung der induktiven Spule verwendet wird, wie sie in EP 1 062 679 B1 beschrieben ist.

5

Schließlich ist vorteilhaft, wenn während der Durchführung des erläuterten Plasmaätzverfahrens eine kontinuierliche oder schrittweise Veränderung der Prozessparameter vorgenommen wird, beispielsweise des Prozessdrucks, der Plasmaleistung, der Substratbiasleistung, der Substratbiasspannung, der Prozessgasflüsse oder der Substrattemperatur. Insbesondere ist vorteilhaft, wenn das Verhältnis von Passiviergasfluss zu Ätzgasfluss während des Ätzverfahrens kontinuierlich oder in diskreten Schritten variiert wird, wie dies in US 6,284,148 für ein Verfahren nach Art der DE 42 41 045 C1 bereits vorgeschlagen wurde.

10

Im Übrigen ist vorteilhaft, dass sich bekannte Weiterentwicklungen des Prozesses nach Art der DE 42 41 045 C1, seien sie prozesstechnischer oder anlagentechnischer Art, weitestgehend mit der im Rahmen der vorliegenden Erfindung beschriebenen Ätzvorrichtung und dem vorliegend erläuterten Ätzverfahren kombinieren lassen. So lässt sich insbesondere auch die in DE 199 33 842 A1 beschriebene Doppelpulstechnik für die Substratbiasspannung oder Substratbiasleistung, die vor allem der Unterdrückung einer Taschenbildung im Bereich eines als Ätzstopp wirkenden dielektrischen Interfaces dient, in das vorliegende Verfahren integrieren.

15

20

Zeichnungen

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1a eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform eines Einsatzkörpers, der auf die Kammer der Plasmaätzanlage aufgesetzt ist, Figur 1b einen Schnitt durch Figur 1a entlang der eingezeichneten Schnittebene, Figur 2a eine zweite, zu Figur 1a alternative Ausführungsform des Einsatzkörpers, Figur 2b einen Schnitt durch Figur 2a entlang der eingezeichneten Schnittebene, Figur 3a eine weitere, zu Figur 1a oder Figur 2a alternative Ausführungsform des Einsatzkörpers, Figur 3b einen Schnitt durch Figur 3a, Figur 4 eine vierte Ausführungsform des Einsatzkörpers, Figur 5a eine Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform des Einsatzkörpers, Figur 5b einen Schnitt durch Figur 5a entlang der dort eingezeichneten Schnittebene, Figur 6 eine Prinzipskizze einer Plasmaätzanlage, Figur 7 ein zu Figur 5a alternatives Ausführungsbeispiel, und Figur 8 eine zu Figur 6 alternative Ausführungsform einer Plasmaätzanlage.

25

30

Ausführungsbeispiele

Die erfindungsgemäße Vorrichtung und das damit durchführbare erfindungsgemäße Verfahren zielt in erster Linie darauf ab, anstelle einer zeitlichen Trennung der Erzeugung von beispielsweise Silizium ätzenden Ätzspezies (F) und teflonartige Filme bildenden Passivierspezies (C_nF_{2n}), wie dies aus DE 41 42 045 C1 bekannt ist, eine räumliche Trennung der Erzeugung beider Spezies in der Plasmaätzanlage vorzunehmen, um diese so gleichzeitig und weitestgehend ohne schädliche Wechselwirkungen untereinander erzeugen zu können. Es sei jedoch betont, dass neben der räumlichen Trennung weiterhin natürlich auch noch zusätzlich eine zeitlich Trennung erfolgen kann, d.h. das erfindungsgemäß vorgeschlagene Konzept lässt sich bei Bedarf auch mit dem Vorgehen gemäß DE 42 41 045 C1 kombinieren. Dies ist jedoch in der Regel nicht erforderlich.

Konkret ist in der Plasmaätzanlage 70 innerhalb der Plasmaquelle, d.h. in einem Reaktionsbereich 20, zunächst mindestens eine Ätzgaszone 23 vorgesehen, die im Wesentlichen oder überwiegend von einem Fluorradikale liefernden Ätzgas wie SF_6 durchströmt wird, d.h. in dieser findet zumindest weitgehend die plasmainduzierte Erzeugung von Fluorradikalen statt.

Daneben ist innerhalb der Plasmaquelle in dem Reaktionsbereich 20 mindestens eine Passiviergaszone 22 vorgesehen, die im Wesentlichen oder überwiegend von einem teflonbildende Monomere liefernden Passiviergas wie C_4F_8 (Octafluorocyclobutan), C_3F_6 (Hexafluorpropen), C_4F_6 (Hexafluor-1,3-butadien) oder C_5F_8 (Octafluor-1,3-pentadien oder Octafluorcyclopenten) durchströmt wird, d.h. in dieser findet zumindest weitgehend die plasmainduzierte Erzeugung von teflonbildenden Monomeren statt.

Schließlich weist die Plasmaätzanlage 70 zwischen der Plasmaquelle und dem zu ätzenden Substrat 59, das in der Regel ein Siliziumwafer ist, einen Mischungsbereich 21 auf, der möglichst außerhalb der Plasmaquelle bzw. der Ätzgaszone 23 und der Passiviergaszone 22 angeordnet ist. In diesem Mischungsbereich 21 findet, nachdem zunächst eine möglichst hohe Dichte von Ätzspezies und Passivierspezies in der Ätzgaszone 23 bzw. Passiviergaszone 22 zumindest weitgehend unabhängig voneinander erzeugt wurde, eine möglichst gute Durchmischung beider Spezies auf deren Weg zu dem zu ätzenden Substrat 59 statt.

Diese Durchmischung ist notwendig, um eine homogene Zusammensetzung des Reaktionsgases am Ort des Substrates 59 zu erreichen, was Voraussetzung ist für ein homogenes Ätzergebnis über der gesamten Substratoberfläche. Andererseits tritt bei der Durchmischung a priori eine wie erläuterte unerwünschte Rekombination beider Speziessorten mit wechselseitiger Auslöschung auf.

Es hat sich jedoch überraschend herausgestellt, dass diese Durchmischung, die erfindungsgemäß zumindest weitgehend erst außerhalb der Plasmaquelle bzw. der oder den Ätzgaszonen 23 und der oder den Passiviergaszonen 22 stattfindet, wo das Gasgemisch bereits zur Substratelektrode 60 und zum darauf angeordneten Substrat 59 hin expandiert, nunmehr gegenüber dem Stand der Technik hinsichtlich der unerwünschten Rekombination beider Speziessorten wesentlich geringere Auswirkungen hat. Insbesondere hat sich gezeigt, dass weniger die Gegenwart einer hohen Dichte beider Speziessorten störend ist hinsichtlich der unerwünschten Rekombination, sondern vielmehr die gleichzeitige Gegenwart beider Ausgangsstoffe am gleichen Erzeugungsort, nämlich im Bereich der Plasmaquelle bzw. im Reaktionsbereich 20. Dort verändert bei einem Gasgemisch die Gegenwart des Ätzgases die Plasmabedingungen derart, dass keine effiziente Erzeugung von passivierenden Spezies mehr möglich ist, was im Stand der Technik einen beträchtlichen Überschuss an Passiviergas erforderlich macht, so dass der Gesamtätzprozess erheblich an Ätzgeschwindigkeit verliert.

Ist dagegen erst einmal eine hohe Dichte von Fluorradikalen und teflonartige Filme aufbauenden Monomeren aus den Ausgangsstoffen möglichst unabhängig voneinander erzeugt worden, was durch die räumliche Trennung in getrennten Zonen, d.h. Ätzgaszone 23 und Passiviergaszone 22, erreicht wird, ist das Zusammentreffen beider Speziessorten außerhalb dieser Zonen 22, 23 und somit insbesondere außerhalb der Plasmaquelle dann nicht mehr so störend. Insofern ist dann, wenn erst einmal eine hohe Dichte von Passivierspezies und Ätzspezies unabhängig voneinander gebildet wurde, und insbesondere die Kettenlänge und damit die Masse der Passivierspezies, d.h. der aus teflonbildenden Radikalen aufgebauten teflonartigen Precursorketten radikalischer Natur, schon relativ groß ist, die Rekombinationsreaktion nicht mehr so ausschlaggebend, als wenn beide Speziessorten schon während des Erzeugungsprozesses im Plasma konkurrierten und auf die Plasmabedingungen wie Elektronendichte und Elektronentemperatur rückwirkten. Die Situation ist weiter umso unproblematischer je größer die teflonartigen Precursorketten beim Eintritt in den Mischungsbereich bereits geworden sind, d.h. je mehr möglichst lange und bevorzugt verzweigte Radikalketten der Form $(CF_2)_n$ gebildet wurden.

Die Figur 1a erläutert ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch in perspektivischer Ansicht. Dazu ist zunächst gemäß Figur 6 oder Figur 8 eine Kammer 53 der Plasmaätzanlage 70, in der die Ätzung stattfindet, mit einer induktiv gekoppelten, auf den Reaktionsbereich 20 einwirkenden Plasmaquelle, wie sie an sich beispielsweise aus DE 199 33 841 A1 bekannt ist, versehen oder verbunden. Weiter ist der Reaktionsbereich 20 zumindest bereichsweise mit Hilfe eines in Draufsicht sternförmigen Einsatzkörpers 5, der räumlich betrachtet bevorzugt die Oberfläche eines Zylinders als Einhüllende aufweist, in mehrere, für ein Gas zumindest weitgehend voneinander getrennte Zonen 22, 23 unterteilt.

Im Einzelnen sind in dem Reaktionsbereich 20, auf den die Plasmaquelle einwirkt, mehrere Ätzgaszonen 23 und Passivierungszonen 22 vorgesehen, die von einem den Ätzgaszonen 23 jeweils zugeordneten Ätzgas oder einem den Passivierungszonen 22 jeweils zugeordneten Passivierungsgas durchströmt werden. Bevorzugt wechseln sich die Ätzgaszonen 23 und Passivierungszonen 22 in Draufsicht auf den Einsatzkörper 5 ab. Die Zufuhr des den einzelnen Zonen 22, 23 jeweils zugeordneten Gases erfolgt durch entsprechende Gaseinlässe oder Gaseintrittsöffnungen 12, 13 in Form von Bohrungen in einer Deckelplatte 14 des Einsatzkörpers 5, so dass darüber den Ätzgaszonen 23 das Ätzgas SF_6 und den Passivierungszonen 22 das Passivierungsgas C_4F_8 gleichzeitig zuführbar ist, ohne dass es bereits im Bereich der Plasmaerzeugung oder der Plasmaquelle zu einer Durchmischung dieser Gase kommt.

Die Figur 1b zeigt die sternförmige Struktur des Einsatzkörpers 5 in Draufsicht auf eine Schnittebene parallel zu einer der Grundflächen des Einsatzkörpers 5, wobei auch eine Spule 10 angedeutet ist, die den Einsatzkörper 5, der sich im Plasmaerzeugungsbereich der Plasmaätzanlage 70 befindet, umgibt, und die das gewünschte Plasma im Inneren des Einsatzkörpers 5 durch induktive Kopplung erzeugt.

Der Einsatzkörper 5 weist nicht notwendigerweise eine äußere, beispielsweise zylindrische Mantelfläche auf, da diese auch von der Wand der Kammer 53 oder einem im Bereich des Einsatzkörpers 5 auf die Kammer 53 aufgesetzten oder integrierten Kessel gebildet werden kann. Dazu ist der Einsatzkörper 5 entsprechend dimensioniert und an den Durchmesser der Kammer 53 bzw. des Kessels angepasst und dort eingesetzt oder eingeschweißt.

Der Einsatzkörper 5 weist aber bevorzugt neben sternförmig von dessen Mitte ausgehenden Wänden 24, die die Ätzgaszonen 23 und die Passiviergaszonen 22 definieren, zusätzlich auch eine den Mantel bildende äußere, in der Regel zylindrische oder hülsenförmige Außenwand 44 auf, so dass der Einsatzkörper 5 bereits für sich betrachtet, d.h. auch vor dem Einsetzen in die Plasmaätzanlage 70, auch seitlich abgeschlossene Ätzgaszonen 23 und Passiviergaszonen 22 definiert. Diese Ausführungsform ist zwar aufwendiger, macht den Einsatzkörper 5 jedoch von der Geometrie der Plasmaätzanlage 70 unabhängiger und damit auch vielseitiger verwendbar.

Der Gesamtgasstrom des Ätzgases bzw. Ätzgasgemisches und der Gesamtgasstrom des Passiviergases bzw. Passiviergasgemisches in dem Einsatzkörper 5 wird über übliche Massenflussregler kontrolliert, wobei sich der jeweilige Gesamtgasstrom bevorzugt gleichmäßig auf jeweils äquivalente Zonen 22, 23 verteilt. Alternativ ist es auch möglich, jeder der Zonen 22, 23 einen eigenen Massenflussregler zuzuordnen, der die diesen Zonen 22, 23 zugeführte Gasmenge jeweils individuell steuert.

Die Plasmaanregung erfolgt im erläuterten Beispiel durch die Spule 10, die um den Kessel der Plasmaätzanlage 70 herumgeführt ist. Diese Spule 10 weist eine oder mehrere Windungen auf und wird bevorzugt in der in EP 1 062 679 B1 beschriebenen Weise balanciert gespeist.

Die Zündung des Plasmas in den durch den Einsatzkörper 5 bereichsweise induzierten verschiedenen Zonen 22, 23 ist problemlos, da die Spule 10 an jede dieser Zone 22, 23 unmittelbar angrenzt, und die in das Volumen eingreifenden elektrischen Felder eine ausreichende Vorionisation zum Aufbau der gewünschten induktiven Plasmamode leistet.

Wird ein Einsatzkörper 5 aus Quarzglas verwendet, sorgt die auftretende ultraviolette Strahlung zusätzlich dafür, dass das Plasma in allen Zonen 22, 23 gleichmäßig zündet, sobald auch nur eine Zone 22, 23 gezündet hat und UV-Strahlung aussendet, d.h. in diesem Fall wird unabhängig von einem elektrischen Eingriff ein weiteres Zünden durch UV-Vorionisation erreicht.

Bevorzugt ist der Einsatzkörper 5 aus Quarzglas und die Kammer 53 oder der auf die Kammer 53 aufgesetzte Kessel aus Keramik ausgeführt, wobei der Einsatzkörper 5 einfach die Kammer 53 bzw. den Kessel eingestellt und möglichst gut an deren Geometrie angepasst sein sollte, oder damit verschweißt ist.

An die Dichtigkeit oder Gasundurchlässigkeit der einzelnen Zonen 22, 23 untereinander werden keine hohen Anforderungen gestellt. Insbesondere ist ausreichend, wenn jeweils zumindest der überwiegende Teil des die jeweilige Zone 22, 23 durchströmenden Gases, sei es Ätzgas oder Passiviergas, von der betreffenden Sorte, d.h. Ätzgas oder Passiviergas, ist. Bevorzugt ist allerdings der Aufbau derart, dass keine oder nur eine vernachlässigbare Durchmischung von Ätzgas und Passiviergas im Bereich des Einsatzkörpers 5 bzw. im Reaktionsbereich 20 auftritt. Dabei sei jedoch betont, dass eine derartige Durchmischung vor allem im unteren, dem zu ätzenden Substrat 59 zugewandten Bereich des Einsatzkörpers 5, der dort offen ist, nicht völlig zu vermeiden und vielmehr dort sogar erwünscht ist.

Die Zahl der Zonen 22, 23 des Einsatzkörpers ist im erläuterten Beispiel gerade und beträgt beispielsweise sechs, vorzugsweise acht bis zwölf, um ein homogenes Ätzergebnis zu erreichen. Entsprechend wird der Einsatzkörper 5 dann durch einen „sechszackigen“, „achtzackigen“ oder „zehnzackigen Stern“ gebildet, der in den eigentlichen Kessel oder die Kammer 53 der Plasmaätzenanlage 70 eingesetzt ist.

Unterhalb der Plasmaquelle, die im erläuterten Beispiel auch als induktiv gekoppelte Multiplasmaquelle bezeichnet werden kann, tritt das in den jeweiligen Zonen 22, 23 durch das Plasma aufgebrochene Ätzgas bzw. Passiviergas aus, und durchmischt sich in dem Mischungsbereich 21 auf dem weiteren Weg zur Substratelektrode 60 und dem darauf angeordneten Substrat 59.

Die Figur 2a zeigt als zweites Ausführungsbeispiel eine besonders vorteilhafte Form der bereichsweisen Unterteilung des Innenraumes der Plasmaätzenanlage 70 in dem Reaktionsbereich 20 in Ätzgaszonen 23 und Passiviergaszonen 22 zur räumlich getrennten jedoch vorzugsweise gleichzeitigen Erzeugung von Ätzspezies und Passivierspezies mit Hilfe des Einsatzkörpers 5.

Dazu ist eine Mehrzahl von Rohren 32, 33, 34 vorgesehen, die jeweils gegen eine Deckelplatte 14 mit entsprechenden Bohrungen als Gaseintrittsöffnungen 12, 13 und gegen eine Bodenplatte 11 mit Gasaustrittsöffnungen 25 an ihren Stirnflächen gedichtet oder mit dieser verschweißt sind. Jedes dieser Rohre 32, 33, 34 definiert eine Erzeugungszone für Ätz- oder Passivierspezies, d.h. begrenzt eine Ätzgaszone 23 oder eine Passiviergaszone 22.

Um die derart gebildete Anordnung aus Rohren 32, 33, 34, die bevorzugt eine zumindest annähernd zylindrische Einhüllende besitzt, wird erneut die Spule 10 gelegt, die in diesen das Plasma erzeugt, das für die Generierung der Ätzspezies bzw. Passivierspezies erforderlich ist.

5 Bei der Anordnung gemäß Figur 2a, die in Figur 2b noch einmal im Schnitt dargestellt ist, kommen sieben Rohre zum Einsatz, wobei das Innenrohr oder zentrale Führungsrohr 34 vorzugsweise von dem Passiviergas durchströmt wird, während die konzentrisch angeordneten Außenrohre oder äußeren Führungsrohre 32, 33 umlaufend abwechselnd von Ätzgas und Passiviergas durchströmt werden, d.h. jedes von dem Ätzgas durchströmte Rohr 33 ist zu einem von dem Passiviergas durchströmten Rohr 32 benachbart. Es sei jedoch betont, dass das Innenrohr 34 prinzipiell auch von dem Ätzgas durchströmt werden kann.

10 Die Gesamtzahl der Rohre 32, 33, 34, die erneut einen herausnehmbaren Einsatzkörper 5 im Bereich der Plasmaquelle bilden oder alternativ in der Plasmaätzanlage 70 auch fest installiert sein können, ist gemäß Figur 2b ungerade, und beträgt vor dem Hintergrund des Erreichens eines möglichst homogenen Ätzergebnisses in der Regel mindestens sieben, besser neun, elf oder mehr.

15 Die Spule 10 wird gemäß Figur 2a oder Figur 2b um die äußere Einhüllende der Rohre 32, 33, 34 geführt, wobei erneut bevorzugt eine balancierte Spulenspeisung gemäß EP 1 062 679 B1 verwendet wird.

20 Die produzierten Spezies, d.h. Fluorradikale als Ätzspezies und C_nF_{2n} -Radikale als Passivierspezies treten jeweils am offenen, unteren Ende der Rohre 32, 33, 34, d.h. in dem Bereich der unteren Gasaustrittsöffnungen 25, in die Prozesskammer 53 aus, und können sich so auf dem Weg zu dem zu ätzenden Substrat 59 zunächst im Mischungsbereich 21 durchmischen.

25 Bei der Anordnung der Führungsrohre 32, 33, 34 gemäß Figur 2a ist es vielfach notwendig, als Material für diese Quarzglas einzusetzen, da im Inneren des zentralen Führungsrohres 34 zur Zündung eines Plasmas in der Regel eine einfallende UV-Strahlung erforderlich ist. Insofern ist, da nur die äußeren Führungsrohre 32, 33 unmittelbar an die induktive Spule 10 grenzen, und meist nur in diesen äußeren Rohren 32, 33 eine ausreichend hohe elektrische Vorionisation von dieser bewirkt werden kann, die zum Zünden eines induktiv gekoppelten Plasmas ausreicht, zum Zünden des Plasmas im zentralen Führungsrohr 34 die Vorionisation durch UV-

30

Einstrahlung aus den umgebenden äußeren Rohren 32, 33 der entscheidende Mechanismus. Insbesondere reichen die von der Spule 10 erzeugten elektrischen Felder im Allgemeinen für eine sichere Zündung des Plasmas im zentralen Führungsrohr 34 nicht mehr aus. Andererseits hat Quarzglas auch in anderer Hinsicht vorteilhafte Eigenschaften, so dass dessen Verwendung oh-
nehin bevorzugt ist. So ist Quarzglas ein besonders „sauberes“ Material, das die Entstehung von Graphitpartikeln und anderen Mikromasken beim Ätzen in der Ätzanlage 70 und insbesondere auf dem Substrat 59 wirkungsvoll unterdrückt, und das besonders glatte, für ein Plasmacon-
tainment optimale Oberflächen besitzt.

Die Anordnung der Führungsrohre 32, 33 für Ätz- bzw. Passiviergas gemäß der ein weiteres Ausführungsbeispiel erläuternden Figuren 3a und 3b ist bevorzugt für die Verwendung von keramischen Rohrmaterialien vorgesehen und verzichtet auf das zentrale Führungsrohr 34. Ansonsten entspricht der Aufbau der Figur 2a bzw. 2b.

Die Dichtung der Rohre 32, 33 erfolgt gemäß Figur 3a beispielsweise stirnseitig mittels O-Ringen zu der Deckelplatte 14 mit den Gaseintrittsöffnungen 12, 13 und/oder zu der Bodenplatte 11 mit den unteren Gasaustrittsöffnungen 25. Alternativ können die Stirnseiten der Rohre 32, 33 mit der Deckelplatte 14 und/oder der Bodenplatte 11 auch verschweißt sein, sofern diese aus Quarzglas ausgeführt sind bzw. eine direkte mechanische Verbindung mit den Rohren 32, 33 gestatten.

Durch die unteren Gasaustrittsöffnungen 25 im Bereich der Bodenplatte 11 treten die in den Ätzgaszonen 23 und Passiviergaszonen 22 produzierten reaktiven Spezies aus, und vermischen sich in dem Mischungsbereich 21 vor dem Einwirken auf das zu ätzende Substrat 59. Die unteren Gasaustrittsöffnungen 25 haben dazu vorzugsweise einen Durchmesser, der dem Innendurchmesser des jeweiligen Rohres 32, 33, 34 entspricht.

Um die Anordnung der Rohre 32, 33 gemäß Figur 3a bzw. 3b, welche bevorzugt konzentrisch um das Zentrum der Plasmaätzanlage 70 und auch des Einsatzkörpers 5 angeordnet sind, ist analog den vorstehenden Ausführungsbeispielen erneut die Spule 10 geführt, die mit einer vorzugsweise balancierten Spulenspeisung mit einem Anpassnetzwerk nach Art der EP 1 062 679 B1 verbunden ist. Da hier alle Rohre 32, 33 unmittelbar an die Spule 10 angrenzen, erfolgt eine Plasmazündung im Inneren der Rohre 32, 33 durch elektrischen/kapazitiven Eingriff problemlos. Weiter kann das Wandmaterial der Rohre 32, 33 im UV-Bereich nun auch undurchsichtig

sein, was den Einsatz von keramischen Wandmaterialien möglich macht. Die Anzahl der Rohre 32, 33 ist gemäß Figur 3a bevorzugt gerade und sollte mindestens acht betragen.

Die Ausführung der Rohre 32, 33 aus Keramik hat gegenüber Quarzglas den Vorteil, dass keine Wandätzung stattfindet, und dass Keramik prinzipiell eine unbegrenzte Lebensdauer besitzt, während Quarzglas von Zeit zu Zeit wegen Aufbrauchs ersetzt werden muss.

Alternativ zu der vorstehend eingesetzten induktiv gekoppelten Plasmaquelle eignet sich auch eine Mikrowellenquelle, mit der in dem Reaktionsbereich 20 in den Ätzgaszonen 23 und den Passiviergaszonen 22 bzw. den diesen jeweils zugeordneten Rohren 32, 33, 34 über eine in diese eingekoppelte Mikrowellenstrahlung mit einer Frequenz von beispielsweise 2,45 GHz ein Plasma erzeugbar ist. Dazu kann das schon in DE 42 41 045 C1 beschriebene Surfatron-Prinzip eingesetzt werden, d.h. eine über einen oder mehrere Mikrowellenhohlleiter in jedes der Rohre 32, 33, 34 eingekoppelte Mikrowellenstrahlung breitet sich in einer Grenzschicht zwischen deren dielektrischer Wandung und dem erzeugten Plasma über die volle Rohrlänge aus, so dass so jedes der Rohre 32, 33, 34 von einem hochdichten Mikrowellenplasma ausgefüllt wird. Dabei kann jedem Rohr 32, 33, 34 ein eigener Mikrowellenhohlleiter mit einem Zirkulator, Abstimmelementen und einem Magnetron zugeordnet sein, bevorzugt ist jedoch lediglich ein solcher Mikrowellenhohlleiter vorgesehen, der sich an seinem Ende insbesondere rotationssymmetrisch über Hohlleiterabzweigungen in die Rohre 32, 33, 34 verzweigt. In der Ausführungsform gemäß Figur 2a sind in diesem Fall dann beispielsweise acht Abzweigungen aus dem Haupthohlleiter mit nachgeordneten Teilhohlleitern vorgesehen, die zentrosymmetrisch von diesem abzweigen, und so die gewünschte Mikrowellenstrahlung in die Rohre 32, 33, 34 einkoppeln.

Die Figur 4 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dabei ist eine vertikale Trennung der Plasmaätzvorrichtung in eine obere Zone 42, vorzugsweise eine Passiviergaszone, und eine darunter befindliche untere Zone 43, vorzugsweise eine Ätzgaszone, vorgesehen, was bevorzugt über eine im Bereich der Plasmaquelle etwa auf halber Höhe in den Einsatzkörper 5 eingefügte horizontale Trennwand 35 erfolgt. Die obere Zone 42 entspricht somit einer Passiviergaszone 22 gemäß Figur 1a, 2a oder 3a, während die untere Zone 43 einer Ätzgaszone gemäß Figur 1a, Figur 2a oder Figur 3a entspricht.

Weiter wird durch eine bevorzugt zentrische Bohrung als obere Gasaustrittsöffnung 26 in der horizontalen Trennwand 35 mit einem daran angesetzten Austrittsrohr als untere Gasführung 16

das in der oberen Zone 42 durch Plasmaeinwirkung aufgebrochene Gas der Prozesskammer 53 zugeführt, d.h. es durchströmt lediglich die untere Zone 43 ohne mit dem dort zugeführten Gas in Kontakt zu kommen, und erreicht so den Mischungsbereich 21.

5 Der unteren Zone 43 wird das Ätzgas beispielsweise über eine oder mehrere, beispielsweise zwei oder vier Durchführungen oder obere Gasführungen 15 und zugeordnete untere Gaseintrittsöffnungen 17 in der Trennwand 35 von oben zugeführt, wobei diese bevorzugt die obere Zone 42 durchqueren ohne dass das darin geführte Gas mit dem in der oberen Zone 42 befindlichen Gas in Kontakt kommt, und wobei der Durchmesser der oberen Gasführungen 15 bevorzugt so eng gewählt ist, dass darin bei der Durchführung durch die obere Zone 42 kein parasitäres Plasma gezündet wird. Das in der unteren Zone 43 durch das darauf einwirkende Plasma aufgebrochene Ätzgas tritt weiter dann durch eine beispielsweise um ein als untere Gasführung 10 16 dienendes Austrittsrohr angeordnete Austrittsblende 27 in die Prozesskammer 53 ein, wo es sich mit dem aus der unteren Gasführung 16 austretenden Gas erstmals vermischt.

15 Im Übrigen sei betont, dass die Zuordnung von Ätzgas und Passiviergas zu der oberen Zone 42 und unteren Zone 43, die in ihrer Funktion der Ätzgaszone 23 bzw. der Passiviergaszone 22 gemäß den Figuren 1a bis 3b entsprechen, in dem vorstehenden Ausführungsbeispiel auch vertauscht sein kann, d.h., es ist auch möglich, das Passiviergas der unteren Zone 43 und das Ätzgas der oberen Zone 42 zuzuführen.

25 Die Figur 4 zeigt weiter, dass um die obere Zone 42 und die untere Zone 43 die Spule 10 gelegt ist, die nun vorzugsweise zwei oder mehr Windungen aufweist. Damit ist sichergestellt, dass sowohl in die untere als auch in die obere Zone 42, 43 ausreichend Hochfrequenzleistung für den Betrieb eines induktiven Plasmas eingekoppelt wird. Das Zünden des Plasmas in der oberen und der unteren Zone 42, 43 ist unproblematisch, da beide unmittelbar an die Spule 10 angrenzen und durch den elektrisch-kapazitiven Eingriff ausreichend Vorionisation für ein induktiv gekoppeltes Plasma gegeben ist.

30 Als Material für einen Einsatzkörper 5 gemäß Figur 4 mit oberer Zone 42 und unterer Zone 43 sowie den darin integrierten Gasführungen 15, 16 eignet sich vor allem Keramik oder Quarzglas, wobei Quarzglas leichter verarbeitbar ist.

Die Zufuhr von Ätzgas bzw. Passiviergas zu dem Einsatzkörper 5 gemäß Figur 4 erfolgt erneut über die Deckelplatte 14, die die Gaseintrittsöffnungen 12, 13 aufweist, die das jeweilige Gas der oberen Zone 42 oder den oberen Gasführungen 15 zu der unteren Zone 43 zuführen. Als Dichtungen werden erneut beispielsweise O-Ringe gegen die Stirnflächen eingesetzt. Die untere Anbindung des Einsatzkörpers 5 gemäß Figur 4 an die Prozesskammer erfolgt erneut beispielsweise über eine in Figur 4 nicht dargestellte Bodenplatte, deren Bohrung bevorzugt dem Innendurchmesser der unteren Zone 43 entspricht. Auch hier wird als Dichtung bevorzugt ein O-Ring gegen die Stirnfläche der Kesselwandung eingesetzt.

Da der Aufbau des Einsatzes gemäß Figur 4 verglichen mit Figur 1a, 2a oder 3a relativ komplex ist, ist dieser gegenüber diesen weniger bevorzugt.

Bei der Durchführung einer anisotropen Plasmaätzung von Silizium, beispielsweise zur Erzeugung möglichst senkrechter und glatter Trenchgräben, mit Hilfe einer der vorstehend erläuterten Vorrichtungen kann weitestgehend auf die bereits aus DE 42 41 045 C1 bekannten Rezepturen zurückgegriffen werden. Insbesondere liegen die induktiv eingekoppelten elektrischen Leistungen an der Spule 10 zwischen 400 Watt und 6 kWatt, und die Leistung an der Substratelektrode beträgt im Zeitmittel zwischen 5 und 30 Watt, wodurch erzeugte Ionen auf das zu ätzende Substrat hin beschleunigt werden. Weiter können sowohl im Fall der Spulenleistung als auch der Substratelektrodenleistungen Pulstechniken gemäß DE 199 33 842 A1 oder Magnetfelder im Bereich von einigen mTesla gemäß DE 199 33 841 A1 oder der Anmeldung DE 100 51 831.1 eingesetzt werden.

Die Prozessdrücke in der Plasmaätzvorrichtung liegen zwischen 10 μbar und 300 μbar , vorzugsweise zwischen 30 μbar und 150 μbar , insbesondere 45 μbar bis 90 μbar . Dabei können sich je nach Einstellung der Gasflüsse in den einzelnen Ätzgaszonen 23, 43 oder Passiviergaszonen 22, 42 auch unterschiedliche Drücke ergeben, d.h. die Druckangabe bezieht sich auf den Mischungsbereich 21 in der Plasmaätzvorrichtung, nicht auf die Drücke in den Rohren 15, 16, 32, 33, 34 oder Zonen 22, 23, 42, 43 mit Ätzgas oder Passiviergas.

Die eingesetzten Gasflüsse betragen beispielsweise 100 sccm bis 2000 sccm (cm^3/min bei Standarddruck von 1 bar) SF_6 für das Ätzgas, insbesondere 500 sccm SF_6 , wobei ein Anteil von 10 % bis 20 % Sauerstoff zugesetzt sein kann, 10 sccm bis 1000 sccm C_4F_8 für das Passiviergas, insbesondere 30 sccm bis 250 sccm C_4F_8 , dem ein Anteil von bis zu 2 % Sauerstoff zugesetzt

sein kann. Sind die Gasflüsse für Ätz- und Passiviergas stark voneinander verschieden eingestellt, ist es auch möglich, deutlich voneinander verschiedene Drücke in den Ätzgaszonen 23, 43 gegenüber den Passiviergaszonen 22, 42 zu generieren, d.h. man hat nun eine Möglichkeit, darüber für jede Spezies (Ätzspezies, Passiviergasspezies) in den zugeordneten Zonen 22, 23, 42, 43 den für deren Erzeugung unter den gegebenen Leistungsparametern jeweils optimalen Druck dort einzustellen.

Die Substrattemperatur beträgt im Übrigen vorzugsweise -30°C bis $+100^{\circ}\text{C}$, beispielsweise $+50^{\circ}\text{C}$. Sie sollte in jedem Fall auf Werte unter 100°C begrenzt werden, um die Stabilität von Fotolackmasken aufrechtzuerhalten.

Bei den vorstehend erläuterten Verfahrensführungen ist generell vorteilhaft, wenn eine möglichst große Menge an freien Fluorradikalen bereit gestellt werden, da diese die Ätzung von Silizium treiben. Entsprechend strebt man einen möglichst großen Gasfluss an fluorliefernden Ätzgasen an, beispielsweise 300 sccm bis 1000 sccm SF_6 , ClF_3 , F_2 oder andere, so dass man zusammen mit einer möglichst hohen eingekoppelten Plasmaleistung von beispielsweise 3 kWatt bis 5,5 kWatt eine große Menge an Fluorradikalen erhält. Daneben wird aber auch eine gewisse Menge an polymerbildenden Spezies für die Seitenwandpassivierung benötigt: Ansonsten ist das Passiviergas aber eher unerwünscht, da es vorhandene Ätzspezies in jedem Fall verdünnt, darüber hinaus aber auch durch Einfangreaktionen zu neutralisieren vermag. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur polymerbildende Monomere, d. h. im Plasma aktivierte Spezies, als Rekombinationspartner agieren können, sondern auch und vor allem unangeregte Passiviergasmoleküle, die im Stand der Technik meist den wesentlichen Teil des zugeführten Passiviergases, typischerweise 80 % bis 95 % ausmachen. Diese Passiviergasmoleküle werden im Stand der Technik nicht plasmaaktiviert, sondern passieren die Plasmaerzeugungszone unaktiviert. Insofern ist ein möglichst niedriger, aber zur Passivierung bzw. zur Gewährleistung einer ausreichenden Zahl polymerbildender Monomere noch reichender Gasfluss zur Minimierung von Rekombinationsverlusten erstrebenswert.

Dies kann dadurch erreicht werden, dass einerseits gegenüber C_4F_8 stärker polymerisierende Passiviergase wie C_4F_6 oder C_3F_8 eingesetzt werden, und/oder dass andererseits dem der Plasmaätzanlage 70 und insbesondere der Plasmaquelle zugeführten Passiviergas unabhängig vom jeweiligen Passiviergasfluss ein zumindest näherungsweise fester Anteil der von der Plasmaquelle in das Plasma eingebrachten Leistung zugeführt wird.

Diese Entkoppelung der dem Passiviergas zugeführten Plasmaleistung vom Passiviergasfluss im Bereich der Plasmaquelle ermöglicht es, auch bei einem kleineren Passiviergasfluss das Passiviergas einer äußerst intensiven Plasmaanregung auszusetzen, und so eine deutlich höhere Crackrate, d.h. einen deutlich höheren Anteil von Passiviergasmolekülen, die im Plasma wirklich aktiviert werden, zu erreichen. Auf diese Weise kann mit einem Passiviergasfluss von beispielsweise lediglich 40 sccm C_4F_8 eine ähnliche Menge an Polymerbildnern generiert werden, als dies bei einem Prozess gemäß US 5,498,312 erst bei einem Gasfluss von 200 sccm oder mehr möglich wäre.

Dieser vom Passiviergasfluss unabhängige Leistungseintrag in das Passiviergas und die sehr effiziente Bildung von im Plasma aktivierten Passiviergasmolekülen wird bei der vorstehend erläuterten "Multipolanordnung" dadurch erreicht, dass die für eine Gassorte bereit gestellte Plasmaleistung vorrangig von der Geometrie der einzelnen Anregungszonen, d.h. der Ätzzonen 23 und der Passiviergaszonen 22 bestimmt wird, und in einfacher Näherung unabhängig vom Gasfluss der jeweiligen Gassorte ist. Somit werden im Fall einer beispielsweise stationären Gaszusammensetzung während des Prozesses die Parameter "Gasfluss einer Sorte" und "auf die jeweilige Gassorte entfallende Plasmaleistung" voneinander entkoppelt, was den Optimierungsspielraum erheblich erweitert und es, wie ausgeführt, gestattet, bei erheblich reduzierten Passiviergasflüssen Prozesse mit stationärer Gaszusammensetzung und minimalen Rekombinationsverlusten durchzuführen.

In diesem Zusammenhang ist auch die aus DE 100 51 831 A1 bekannte Magnetspulenanordnung unterhalb der Plasmaquelle bzw. dem Reaktionsbereich 20 in Form einer "Multipolplasmaerzeugungszone" sehr vorteilhaft, da diese neben einer Homogenisierung von Ionen- und Radikalenströmen zum bearbeiteten Substrat 59 hin gerade mit stationärer Gaszusammensetzung eine weiter erhöhte Effizienz der Plasmaquelle bewirkt. Eine derartige magnetische Plasmaunterstützung fördert in hohem Maße die Aktivierung von Passiviergasspezies auch bei niedrigen Passiviergasflüssen, so dass insgesamt eine Crackrate von 50 % bis 90 % erreicht werden kann.

Die Figur 5a und Figur 5b zeigt vor diesem Hintergrund einen weiteren, zu den Figuren 1a bis Figur 4 alternativen Einsatzkörper 5. Die Figuren 5a und 5b sind beispielhaft mit Bemaßungen in Millimeter versehen und weitgehend maßstabsgerecht gezeichnet.

Im Einzelnen zeigt Figur 5a eine Draufsicht auf einen Kessel oder Einsatzkörper 5 aus einer Keramik oder, bevorzugt, aus Quarzglas, mit einer bevorzugt zylindrischen Außenwand 44 in den vier Rohre als Passiviergasführungsrohre 32 eingesetzt sind. Innerhalb des Kessels wird ein Plasma bevorzugt durch induktive Anregung und besonders bevorzugt mit magnetischer Unterstützung nach Art der DE 100 51 831 A1 unterhalten, wobei dem nicht von den Passiviergasführungsrohren 32 eingenommenen Volumen des Kesselinneren das Ätzgas, vorzugsweise SF_6 zugeführt wird. Den Passiviergasführungsrohren 32 wird das Passiviergas, vorzugsweise C_4F_8 , C_3F_6 , C_4F_6 oder C_5F_8 , zugeführt, und darin ebenfalls eine Plasmaentladung induziert.

Wie aus den in Figur 5a in Millimeter angegebenen Abmessungen des Kessels und der vier Rohre 32 hervorgeht, entfällt unabhängig von den Gasflüssen auf die von Passiviergas durchströmten Rohre 32 ca. 1/3 der eingekoppelten Gesamtleistung, während auf den Bereich außerhalb der Rohre 32 ca. 2/3 der eingekoppelten Gesamtleistung entfallen. Das bedeutet, dass beispielsweise bei einer Plasmaleistung von 3600 Watt ca. 1200 Watt auf die Passivierkomponente (unabhängig vom Passiviergasfluss) und ca. 2400 Watt auf die Ätzkomponente (unabhängig vom Ätzgasfluss) entfallen. Die Figur 5b zeigt im Schnitt, wie die Rohre 32 in den Kessel 5 eingestellt sind. Weiter sind auch die im Bereich der Deckelplatte 14 vorgesehenen Gaseintrittsöffnung 12 für das Passiviergas und Gaseintrittsöffnungen 13 für das Ätzgas erkennbar. Im Innenraum der mit dem Passiviergas durchströmten Rohre 32 bilden sich bei Betrieb somit Passiviergaszonen 22 und im übrigen Volumen des Kessels 5 eine Ätzgaszone 23 aus. Im unteren Teil des Kessels sind Gasaustrittsöffnungen 25 vorgesehen.

Selbstverständlich eignen sich auch andere Anordnungen als die beispielhaft angegebene für den Einsatzkörper 5. So können an Stelle eines Kessels auch eine Anzahl von nebeneinander angeordneten Rohren 32, 33 als Plasmaerzeugungskammern vorgesehen sein, wobei die Anzahl der Ätzgasführungsrohre 33 und der Passiviergasführungsrohre 32 unabhängig von den tatsächlichen Gasflüssen die Aufteilung der zugeführten Plasmaleistung auf die jeweilige Prozesskomponente regelt. Wichtig ist lediglich, dass dem Passiviergas und dem Ätzgas jeweils ein apparativ vorgegebenes eigenes Volumen im Reaktionsbereich 20 zuordnet ist. Insofern ist es auch, ausgehend von Figur 4, ohne Weiteres möglich, bei einer vertikalen Aufteilung des Einsatzkörpers 5 in zwei Plasmaerzeugungszonen 42, 43 diese mit unterschiedlichen Leistungen zu speisen, und so die gewünschte Aufteilung unabhängig von den tatsächlichen Gasflüssen vorzu-

nehmen und durch Wahl der jeweils den Zonen 42, 43 zugeordneten Generatorleistung festzulegen.

Die Anordnung gemäß Figur 5a bzw. Figur 5b ist besonders vorteilhaft, da sie nahe am Standard von üblichen Ätzanlagen bleibt und nur einen Hochfrequenzgenerator 54 für die Spule 10 und nur eine Spule 10 für die Plasmaerzeugung erfordert. Im Übrigen weist der Einsatzkörper 5 einen vergleichsweise kleinen Innendurchmesser von 100 mm bis 150 mm, beispielsweise 144 mm, auf, was zu einer besonders hohen Leistungsdichte im Inneren führt, das Plasma besonders stabil macht, und die Effizienz der Molekulanregung insbesondere mit Blick auf das Passiviergas erhöht.

Die Figur 6 zeigt eine Prinzipskizze einer weitgehend aus DE 100 51 831 A1 bekannten Plasmaätzenanlage 70 mit einem Substratbiasgenerator 50, einem diesem zugeordneten ersten Anpassnetzwerk 51 ("Matchbox"), einer Kammer 53, einer Abgasleitung 52, die mit leistungsfähigen Vakuumpumpen verbunden ist, einer Substratelektrode 60, auf der sich bei Betrieb ein Substrat 59, beispielsweise ein Siliziumwafer, befindet, einem Spulengenerator 54, einem diesem zugeordneten zweiten Anpassnetzwerk ("Matchbox"), einer Spule 10 zum Erzeugen eines induktiv gekoppelten Plasmas, und dem Einsatzkörper 5 gemäß einem der erläuterten Ausführungsbeispiele. Der Einsatzkörper 5 oder Kessel befindet sich weiter in dem Reaktionsbereich 20, dem der Mischungsbereich 21 im Inneren der Kammer 53 nachgeordnet ist. Schließlich ist in Figur 6 eine die Kammer 53 bereichsweise umgebende obere Spule 57 und eine entsprechende untere Spule 58 vorgesehen, die im Inneren der Kammer 53 jeweils ein Magnetfeld erzeugen, die einander entgegengerichtet sind. Ein mit dieser Plasmaätzenanlage 70 beim Ätzen von Trenchgräben in Silizium ausgeführtes bevorzugtes Prozessrezept lautet:

| | |
|--|--|
| Ätzgas und Ätzgasfluss: | 500 sccm SF_6 |
| Passiviergas und Passiviergasfluss: | 30 sccm C_4F_8 oder C_3F_6 |
| Prozessdruck innerhalb der Kammer 53 im Substratbereich: | 70 μbar |
| Plasmaquellenleistung (bei einer Hochfrequenz von 13,56 MHz): | 2700 Watt bis 5500 Watt |
| Strom der oberen Spule 57 (420 Windungen, 40 cm Durchmesser): | 7,5 Ampère |
| Strom der unteren Spule 58 (360 Windungen, 40 cm Durchmesser): | 5,5 Ampère |

Weiter wird in die Substratelektrode 60 bevorzugt eine Hochfrequenzleistung (bei z.B. 13,56 MHz Trägerfrequenz) im Doppelpulsbetrieb gemäß DE 199 57 169 A1 mit einer Spitzenleis-

tung von 500 Watt, einer Pulswiederholrate von 100 kHz bei 10 % Duty Cycle und einer zusätzlichen langsamen Pulsung mit beispielsweise 40 Hz bei 50 % Duty Cycle eingekoppelt, was eine effektive Leistung an der Substratelektrode 60 von 20 bis 25 Watt bedeutet.

5 Falls man auf diese Doppelpulstechnik verzichten, und die Substratelektrode mit einer un gepulsten Hochfrequenzleistung (bei z.B. 13,56 MHz Trägerfrequenz) beaufschlagt, ergibt sich ein modifiziertes Prozessrezept:

Ätzgas und Ätzgasfluss: 500 sccm SF_6
10 Passiviergas und Passiviergasfluss: 50 sccm C_4F_8 oder C_3F_6
Prozessdruck innerhalb der Kammer 53 im Substratbereich: 45 μbar
Plasmaquellenleistung (bei einer Hochfrequenz von 13,56 MHz): 2700 Watt bis 5500 Watt
Strom der oberen Spule 57 (420 Windungen, 40 cm Durchmesser): 7,5 Ampère
Strom der unteren Spule 58 (360 Windungen, 40 cm Durchmesser): 5,5 Ampère

15 In diesem Fall wird weiter eine effektive Biasleistung von 15 Watt in die Substratelektrode 60 eingekoppelt.

20 Im Fall des ersten Prozessrezeptes genügt ein gegenüber dem zweiten rezept kleinerer Passiviergasfluss, da die eingesetzte Doppelpulstechnik die Effizienz der angestrebten Seitenwandpassivierung deutlich verbessert. Insbesondere führen periodische Phasen ohne Ionenbeschuss und die dadurch induzierte verbesserte Passiviereffizienz dazu, dass eine kleinere Zahl von Passivierspezies für die Passivierung genügt, was wiederum weniger Rekombinationsverluste mit sich bringt.

25 Andere Prozessrezepte lassen sich insbesondere bei einer geänderten Aufteilung der dem Passiviergas und dem Ätzgas im Bereich der Plasmaquelle oder Reaktionsbereich 20 zur Verfügung stehenden Volumina unmittelbar daraus ableiten.

30 Die Figur 7 erläutert ein weiteres Ausführungsbeispiel für einen Einsatzkörper 5, der als zylinderförmiger Kessel aus Quarzglas oder Keramik ausgeführt ist und einen Außendurchmesser von beispielsweise 160 mm und einem Innendurchmesser von beispielsweise 130 mm aufweist. Weiter ist eine Anordnung von beispielsweise sechs Rohren 32, 33 mit jeweils einem Außendurchmesser von 42 mm und einer Wandstärke von 3 mm in diesen Kessel eingestellt, so dass

sich sechs Einzelkammern ergeben, von denen im erläuterten Beispiel drei mit Ätzgas und drei mit Passiviergas beaufschlagt werden. Damit bilden sich im Inneren der Rohre 32, 33 drei Passiviergaszonen 22 und drei Ätzgaszonen 23 aus. Da Quarzrohre durch die Plasmachemie angeätzt werden, müssen sie regelmäßig erneuert werden, stellen also "Consumables" dar. Selbstverständlich kann aber auch eine andere, insbesondere größere Zahl von Rohren 32, 33 eingesetzt werden. In Figur 7 ist ein Austausch der Rohre 32, 33 besonders einfach und kostengünstig möglich, da diese einfach in den Kessel eingesteckt sind, und sich gegenseitig nach innen abstützen bzw. und nach außen von der Innenwandung des Kessels bzw. der Außenwand 44 gestützt werden. Zudem muss nicht der gesamte Kessel bzw. Einsatzkörper 5 ausgetauscht werden, sondern lediglich die Rohre 32, 33. Weiter ist eine nicht dargestellte Bodenplatte mit einer einige Millimeter überstehenden Kante vorgesehen, die die dem Substrat 59 zugewandte Seite der Rohre 32, 33 abstützt, und so ein Durchfallen der Rohre 32, 33 in die Kammer 53 verhindert. Jedem der Rohre 32, 33 ist weiter auf der dem Substrat 59 abgewandten Seite im Bereich der Deckelplatte eine Gaseintrittsöffnung 12, 13 zugeordnet. Die von den Rohren 32, 33 eingerahmte Zone im Bereich des Zentrums 64 des Einsatzkörpers 5 kann bei Bedarf über einen zugeordneten Gaseinlass 13 ebenfalls von Ätzgas oder Passiviergas durchströmt werden, und kann so ebenfalls zu einer Passiviergaszone 22 oder, bevorzugt, zu einer Ätzgaszone 23 werden. Überdies kann auch hier ein zusätzliches zentrales Rohr 34 analog Figur 2b vorgesehen sein, das unter anderem die übrigen Rohre 32, 33 mit abstützt.

Die Figur 8 erläutert schließlich ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine Plasmaätzanlage 70, bei dem die Passiviergaszonen 22 und Ätzgaszonen 23 im Reaktionsbereich 20 der Plasmaquelle nicht durch einen Einsatzkörper 5 definiert werden, sondern durch eine Erzeugung von in dem Reaktionsbereich 20 möglichst gebündelten Gasströmen. Auf diese Weise kann auch auf den Einsatz von Rohren 32, 33 verzichtet werden. Konkret sind in Figur 8 im Unterschied zu Figur 6 beispielsweise lanzenförmige Gasführungen vorgesehen, die in Passiviergaslanzen 62 und Ätzgaslanzen 63 unterteilt sind. Mit diesen kann das Ätzgas bzw. das Passiviergas direkt in die Plasmaquelle injiziert werden, wobei sie bevorzugt etwas oberhalb einer von der Spule 10 definierten Spulenebene 61 enden. Auf diese Weise werden Ätzgas und Passiviergas einerseits in eine Zone mit einem sehr dichten Plasma mit hoher Anregungseffizienz eingebracht, und andererseits wird damit eine zu frühe Vermischung der beiden Gase schon in der Plasmaquelle durch Diffusion und einen für jede Lanze 62, 63 sich unvermeidbar allmählich öffnenden Gasströmungskegel weitgehend unterdrückt. Somit kann jede Gassorte lokal für sich individuell und ohne Rekombinationsverluste im hochdichten Plasma angeregt werden kann, wobei sich

Plasmapbedingungen einstellen, die den Eigenschaften der jeweiligen Gassorte weitgehend optimal entsprechen und unbeeinträchtigt von der jeweils anderen Gassorte sind. Der durch die Lanzen 62, 63 induzierte gerichtete Gasstrom definiert in ausreichendem Maße ein der jeweiligen Gassorte zugeordnetes Volumen, was gemäß den Figuren 1 bis 5 bzw. 7 durch die dort verwendeten Rohre 32, 33 oder Zonen 42, 43 erfolgte, bevor sich die Gase dem Durchströmen der Plasmaquelle in dem nachgeordneten Mischungsbereich 21 vermischen.

Die Lanzen 62, 63 sind bevorzugt in Form von Röhrchen oder Kapillaren, beispielsweise aus Aluminium, eloxiertem Aluminium, Keramik, Glas, Quarzglas, oder einem anderen Material, welches von der Plasmachemie nicht angegriffen wird, ausgebildet. Bevorzugt sind insgesamt mindestens fünf, vorzugsweise mindestens sieben Lanzen 62, 63 eingesetzt, wobei die räumliche Anordnung und Aufteilung der Funktion in Passiviergaslanzen 62 und Ätzgaslanzen 63 in Draufsicht der Anordnung der Rohre 32, 33 oder Zonen 22, 23 gemäß Figur 1b, Figur 2b, Figur 3b, Figur 5a oder Figur 7 entsprechen kann. Insbesondere werden benachbarte Lanzen 62, 63 bevorzugt von unterschiedlichen Gassorten (Ätzgas oder Passiviergas) durchströmt.

Bevorzugt ist gemäß Figur 8 eine induktive Spule 10 mit einer einzigen ebenen Windung vorgesehen, die die Spulenebene 61 festlegt, wobei die induktive Spule 10 vorzugsweise balanciert gemäß EP 1 062 679 B1 mit Hochfrequenz gespeist wird und in ihrer Mitte geerdet ist. Die Zone hochdichter Plasmaanregung erstreckt sich damit ca. 20 mm bis 30 mm oberhalb und unterhalb der Spulenebene 61. Besonders bevorzugt enden die Lanzen 62, 63 ca. 20 mm bis 60 mm oberhalb der Spulenebene 61, d.h. genau am Rande oder etwas oberhalb der Zone hochdichter Plasmaanregung.

Wird eine Spule 10 mit mehreren Windungen eingesetzt, muss zuerst festgestellt werden, wie weit sich die Zone hochdichter induktiver Plasmaanregung nach oben hin ausdehnt. Danach kann man festlegen, wie weit die Gaslanzen 62, 63 in die Kammer 53 im Bereich der Plasmaquelle hineinragen sollen. Dabei sollten die Lanzen 62, 63 die Prozessgase etwas oberhalb der ermittelten Zone hochdichter Plasmaanregung in die Kammer 53 entlassen, so dass sie sich bis zum und im Reaktionsbereich 20 möglichst wenig durchmischen.

Bei einem typischen Prozessdruck von 30 μm bis 100 μm liegen die freien Weglängen der Gasmoleküle in einer Größenordnung von einigen Millimetern bis etwa 10 mm. Für eine Anordnung von beispielsweise sieben Gaslanzen 62, 63 beträgt der Abstand zwischen diesen be-

vorzugt ca. 50 mm, für eine größere Anzahl homogen verteilter Gaslanzen 62, 63 entsprechend weniger. Die Untergrenze des Abstandes der Lanzen 62, 63 liegt bei ca. 10 mm, d.h. mehr als die freie Weglängen der Gasmoleküle bei dem gegebenen Druck. Damit vermischen sich die beiden Gasarten auf ihrem Weg zum bzw. durch den Reaktionsbereich 20 nur wenig, und breiten sich im Wesentlichen auf den Austrittskegeln der Lanzen 62, 63 durch die Plasmaquelle hinweg aus, wo sie individuell, unter günstigen Plasmabedingungen und ohne Rekombinationsverluste angeregt werden können. Der erwünschte Effekt des gerichteten Austritts der Gase aus den Lanzen 62, 63 kann noch dadurch verstärkt werden, dass man relativ enge Austrittsquerschnitte und somit relativ hohe Austrittsgeschwindigkeiten vorsieht. So können die Lanzen 62, 63 in Form von Röhren mit einem Außendurchmesser von 3 mm bis 4 mm und einem Innendurchmesser von 1 mm bis 2 mm ausgeführt sein, oder man sieht noch kleinere Kapillaren mit Querschnitten deutlich unter 1mm vor, um eine möglichst gerichtete Gasströmung mit hoher Austrittsgeschwindigkeit darzustellen. Je gerichteter der Austrittskegel aus den Gaslanzen 62, 63 sind, umso geringer ist auch die Durchmischung der einzelnen Gassorten auf ihrem Weg durch die hochdichte Plasmazone bzw. den Reaktionsbereich 20, umso besser also auch die strömungsbedingte Trennung der einzelnen Gassorten voneinander. Die Form der Austrittskegel der Lanzen 62, 63 kann überdies durch die Form der Austrittsöffnung der Lanzen 62, 63 erheblich beeinflusst werden. Weiter können darüber auch unerwünschte Turbulenzen oder Strömungsabrisse unterdrückt werden.

Alternativ zu einer Anordnung von einzelnen Rohren 32, 33 oder Lanzen 62, 63 können die einzelnen Gasaustritte auch durch einen Deckel mit einer Vielzahl von engen Austrittsöffnungen nach Art einer Gasdusche, einem sogenannten "Shower-Head", dargestellt werden, der die Rolle der Lanzen 62, 63 oder des Einsatzkörpers 5 übernimmt, wobei erneut bevorzugt benachbarte Austrittsöffnungen jeweils unterschiedliche Gassorten ausströmen lassen.

Ein solcher Gasduschkopf kann aus Aluminium, eloxiertem Aluminium, Keramik, Glas, Quarzglas oder einem anderen, gegenüber der Plasmachemie beständigen Material ausgeführt sein. Weiter ist in diesem Fall dem Gasduschkopf ein Netzwerk von Strömungskanälen auf beispielsweise zwei Ebenen zugeordnet, welches den Austrittsöffnungen die jeweilige Gassorte definiert und getrennt zuführt. Schließlich ist auch in diesem Fall wichtig, dass der Gasduschkopf im richtigen Abstand zur Zone hoher Plasmaanregungsdichte platziert ist, d.h. bevorzugt 20 mm bis 60 mm oberhalb der durch die vorzugsweise eine Windung der induktiven Spule 10 definierten Spulenebene 61.

10.10.02 Kut/Dm

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Ansprüche

1. Vorrichtung zum anisotropen Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, mit einer Plasmaquelle zum Generieren eines hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes, einer Kammer (53) und einem Reaktionsbereich (20) zum Erzeugen eines Plasmas mit reaktiven Spezies innerhalb der Kammer (53) durch Einwirken des Wechselfeldes auf ein in den Reaktionsbereich (20) einbringbares Ätzgas und ein in den Reaktionsbereich (20) einbringbares Passiviergas, wobei ein Mittel (5, 62, 63) vorgesehen ist, mit dem in dem Reaktionsbereich (20) mindestens eine erste, überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich mit dem Ätzgas beaufschlagte Zone (23, 33, 43) und in dem Reaktionsbereich (20) mindestens eine zweite, überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich mit dem Passiviergas beaufschlagte Zone (22, 32, 42) definierbar ist, und wobei ein dem Reaktionsbereich (20) nachgeordneter Mischungsbereich (21) vorgesehen ist, mit dem in der ersten Zone (23, 33, 43) aus dem Ätzgas erzeugte reaktive Spezies und in der zweiten Zone (22, 32, 42) aus dem Passiviergas erzeugte reaktive Spezies vor einem Einwirken auf das Substrat (59) miteinander vermischbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 62, 63) ein insbesondere in die Kammer (53) integrierter oder aufgesetzter, in Draufsicht insbesondere zylindersymmetrischer Einsatzkörper (5) mit einer Außenwand (44) und einer Deckelplatte (14) ist, durch den mindestens ein insbesondere eine Passiviergaszone (22) definierendes Führungsrohr (32, 33) verläuft, wobei die Deckelplatte (14) eine dem Führungsrohr (32, 33) zugeordnete Gaseintrittsöffnung (12, 13) aufweist, und wobei die Deckelplatte (14) mindestens eine weitere Gaseintrittsöffnung (12, 13) aufweist, die in das Innere des Einsatzkörpers (5) führt oder mit mindestens einem weiteren, insbesondere eine Ätzgaszone (23) definierenden Führungsrohr (32, 33) verbunden ist.

30

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das oder die Führungsrohre (32, 33) und/oder der Einsatzkörper (5) auf seiner dem Substrat (59) zugewandten Seite offen ist und in den Mischungsbereich (21) mündet, oder dass der Einsatzkörper (5) auf seiner

dem Substrat (59) zugewandten Seite eine Bodenplatte (11) mit mindestens einer Gasaustrittsöffnung (25) aufweist.

3. Vorrichtung zum anisotropen Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, mit einer Plasmaquelle zum Generieren eines hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes, einer Kammer (53) und einem Reaktionsbereich (20) zum Erzeugen eines Plasmas mit reaktiven Spezies innerhalb der Kammer (53) durch Einwirken des Wechselfeldes auf ein in den Reaktionsbereich (20) einbringbares Ätzgas und ein in den Reaktionsbereich (20) einbringbares Passiviergas, wobei ein Mittel (5, 62, 63) vorgesehen ist, mit dem in dem Reaktionsbereich (20) mindestens eine erste, überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich mit dem Ätzgas beaufschlagte Zone (23, 33, 43) und in dem Reaktionsbereich (20) mindestens eine zweite, überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich mit dem Passiviergas beaufschlagte Zone (22, 32, 42) definierbar ist, und wobei ein dem Reaktionsbereich (20) nachgeordneter Mischungsbe-
reich (21) vorgesehen ist, mit dem in der ersten Zone (23, 33, 43) aus dem Ätzgas erzeugte reaktive Spezies und in der zweiten Zone (22, 32, 42) aus dem Passiviergas erzeugte reaktive Spezies vor einem Einwirken auf das Substrat (59) miteinander vermischbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 62, 63) mindestens eine Ätzgaslanze (63), mit der bei Betrieb eine gerichtete Gasströmung des Ätzgases induzierbar ist, und/oder mindestens eine Passiviergaslanze (62), mit der bei Betrieb eine gerichtete Gasströmung des Passiviergases induzierbar ist, aufweist, oder dass das Mittel (5, 62, 63) einen Duschkopf mit mindestens einer Öffnung für das Ätzgas und mindestens einer Öffnung für das Passiviergas aufweist.

4. Verfahren zum anisotropen Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, wobei mit Hilfe einer Plasmaquelle ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld generiert wird, das innerhalb einer Kammer (53) in einem Reaktionsbereich (20) durch Einwirken des Wechselfeldes auf ein in den Reaktionsbereich (20) eingebrachtes Ätzgas und ein in den Reaktionsbereich (20) eingebrachtes Passiviergas ein Plasma mit reaktiven Spezies erzeugt, wobei in dem Reaktionsbereich (20) das Ätzgas überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich in mindestens eine erste Zone (23, 33, 43) und das Passiviergas überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich in mindestens eine zweite Zone (22, 32, 42) eingebracht wird, wobei in der ersten Zone (23, 33, 43) mittels eines dort erzeugten Plasmas reaktive Ätzgasspezies und in der zweiten Zone (22, 32, 42) mittels eines dort erzeugten Plasmas reaktive Passiviergasspezies erzeugt werden, und wobei die Ätzgasspezies und die Passiviergasspezies vor deren Einwirkung auf das Substrat in einem dem Reaktionsbereich (20) nachgeordneten Mi-

schungsbereich (21) miteinander vermischt werden, dadurch gekennzeichnet, dass eine gegenüber der Menge an Ätzgas minimierte Menge an Passiviergas eingesetzt wird.

5. Verfahren zum anisotropen Ätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers, wobei mit Hilfe einer Plasmaquelle ein hochfrequentes elektromagnetisches Wechselfeld generiert wird, das innerhalb einer Kammer (53) in einem Reaktionsbereich (20) durch Einwirken des Wechselfeldes auf ein in den Reaktionsbereich (20) eingebrachtes Ätzgas und ein in den Reaktionsbereich (20) eingebrachtes Passiviergas ein Plasma mit reaktiven Spezies erzeugt, wobei in dem Reaktionsbereich (20) das Ätzgas überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich in mindestens eine erste Zone (23, 33, 43) und das Passiviergas überwiegend oder zumindest nahezu ausschließlich in mindestens eine zweite Zone (22, 32, 42) eingebracht wird, wobei in der ersten Zone (23, 33, 43) mittels eines dort erzeugten Plasmas reaktive Ätzgasspezies und in der zweiten Zone (22, 32, 42) mittels eines dort erzeugten Plasmas reaktive Passiviergasspezies erzeugt werden, und wobei die Ätzgasspezies und die Passiviergasspezies vor deren Einwirkung auf das Substrat in einem dem Reaktionsbereich (20) nachgeordneten Mischungsbereich (21) miteinander vermischt werden, dadurch gekennzeichnet, dass in das Passiviergas zumindest näherungsweise unabhängig von dem Passiviergasfluss in dem Reaktionsbereich (20) ein zumindest näherungsweise konstanter Anteil der von der Plasmaquelle in das Plasma eingebrachten Energie eingetragen wird.

10.10.02 Kut/Dm

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

Vorrichtung und Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen eines Substrates, insbesondere eines Siliziumkörpers

10

Zusammenfassung

15

20

25

Es wird ein Verfahren und eine zu dessen Durchführung geeignete Vorrichtung zum anisotropen Plasmaätzen eines Substrates (59), insbesondere eines Siliziumkörpers, vorgeschlagen. Die Vorrichtung weist eine Kammer (53) und eine Plasmaquelle zum Generieren eines hochfrequenten elektromagnetischen Wechselfeldes und einen Reaktionsbereich (20) zum Erzeugen eines Plasmas mit reaktiven Spezies innerhalb der Kammer (53) auf, wobei die reaktiven Spezies durch Einwirken des Wechselfeldes auf ein Ätzgas und ein insbesondere gleichzeitig aber räumlich getrennt dazu eingebrachtes Passiviergas entstehen. Weiter ist ein Mittel (5, 62, 63) vorgesehen, mit dem in dem Reaktionsbereich (20) mindestens eine erste, mit dem Ätzgas beaufschlagte Zone (23, 33, 43) und mindestens eine zweite, mit dem Passiviergas beaufschlagte Zone (22, 32, 42) definiert werden. Zudem weist die Vorrichtung einen dem Reaktionsbereich (20) nachgeordneten Mischungsbereich (21) auf, mit dem in der ersten Zone (23, 33, 43) aus dem Ätzgas erzeugte reaktive Spezies und in der zweiten Zone (22, 32, 42) aus dem Passiviergas erzeugte reaktive Spezies vor einem Einwirken auf das Substrat (59) miteinander vermischt werden.

Figur 6

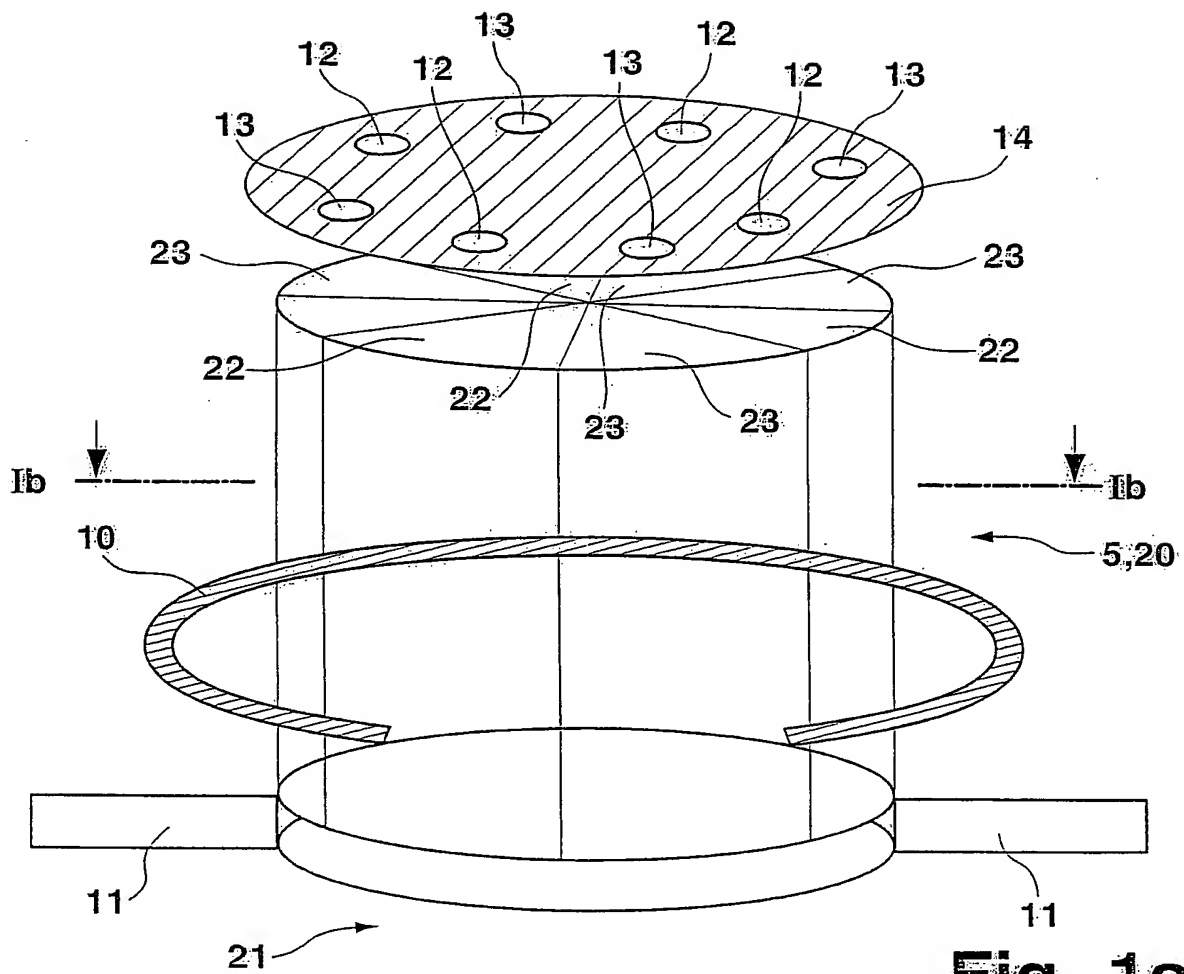


Fig. 1a

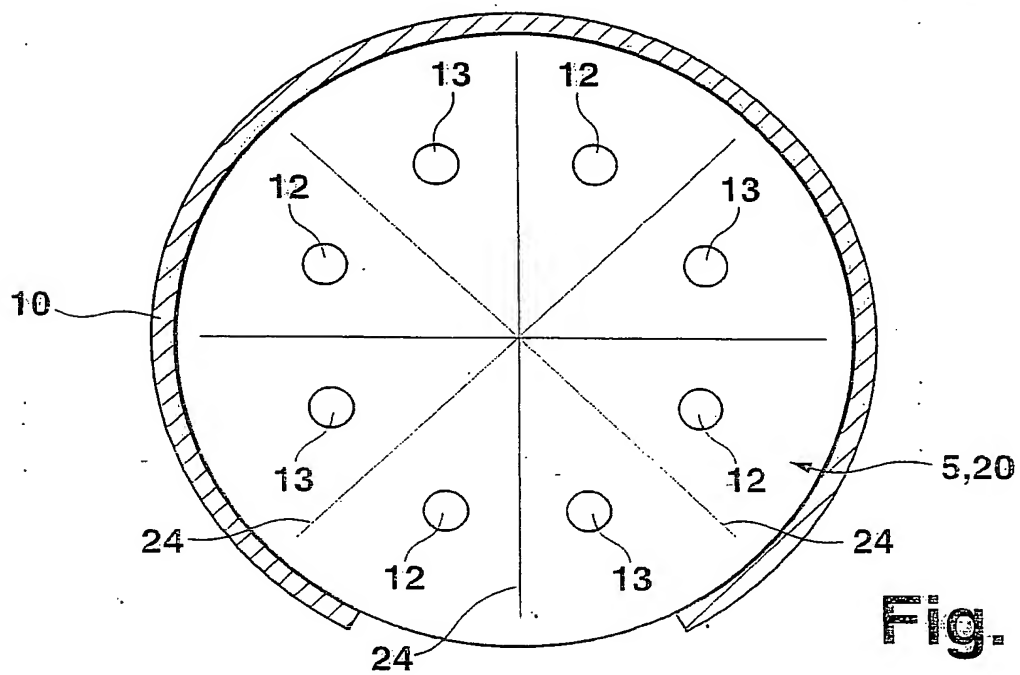


Fig. 1b

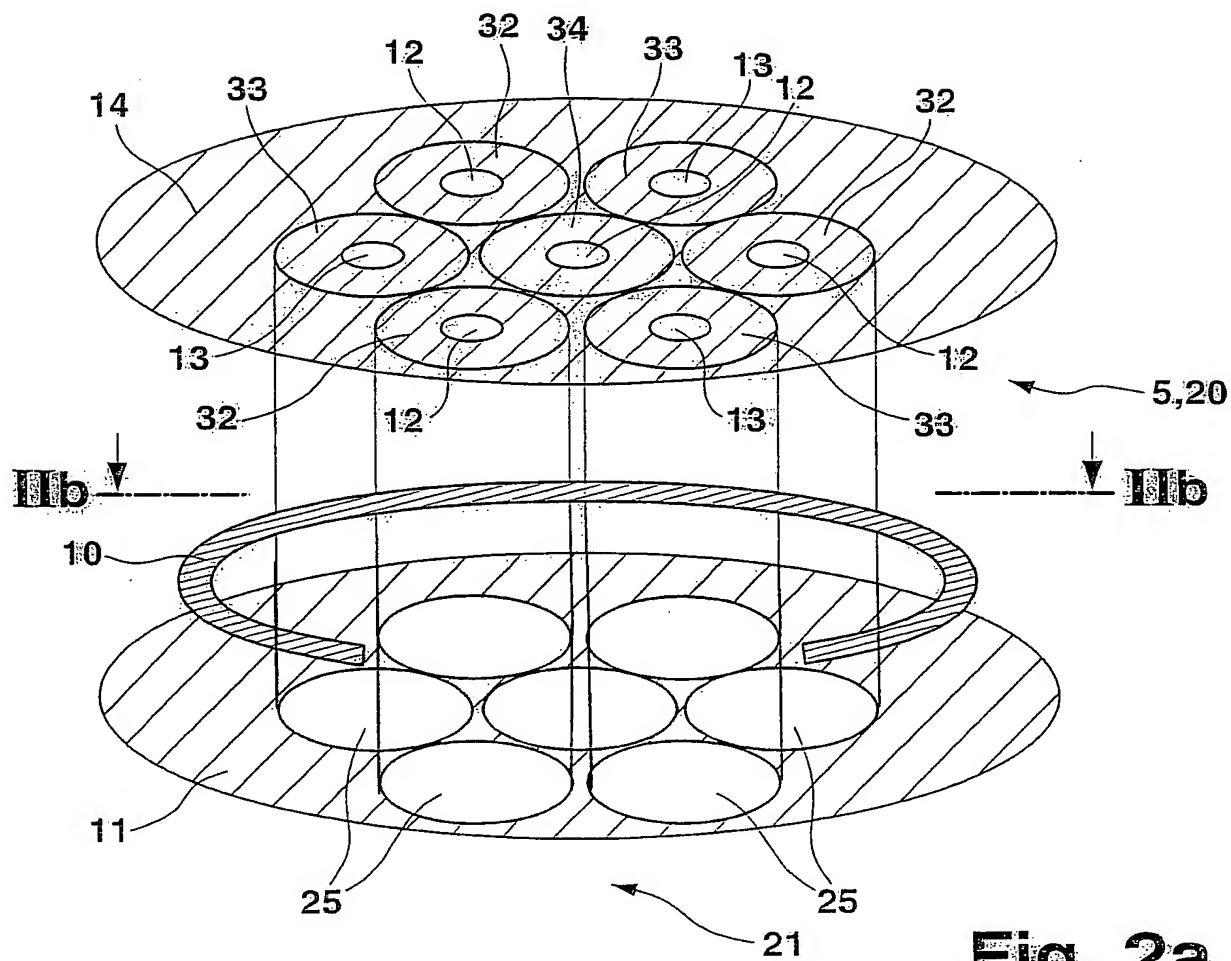


Fig. 2a

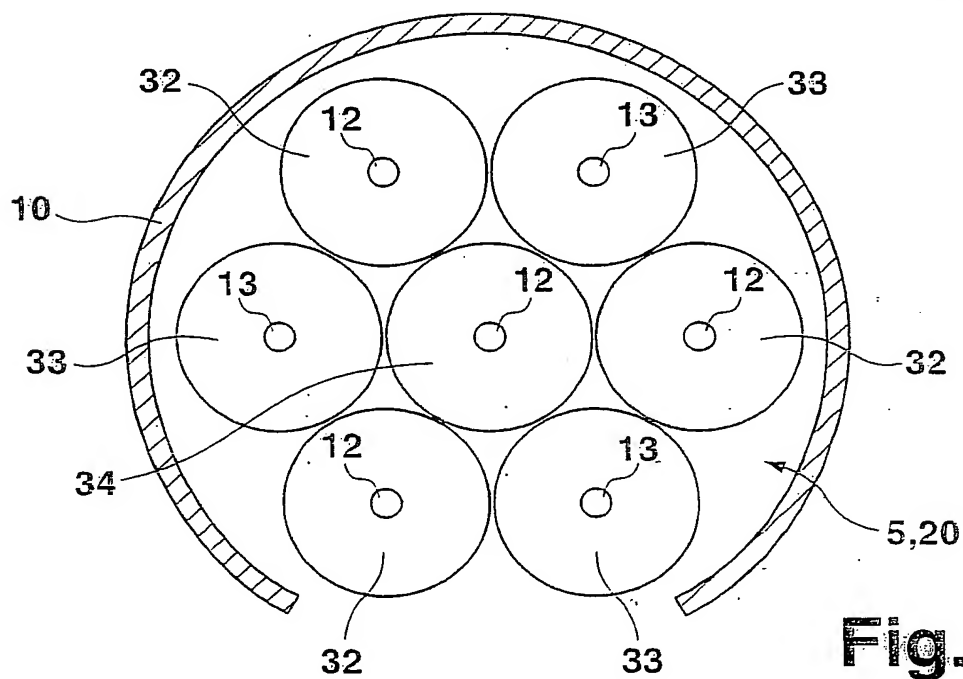


Fig. 2b

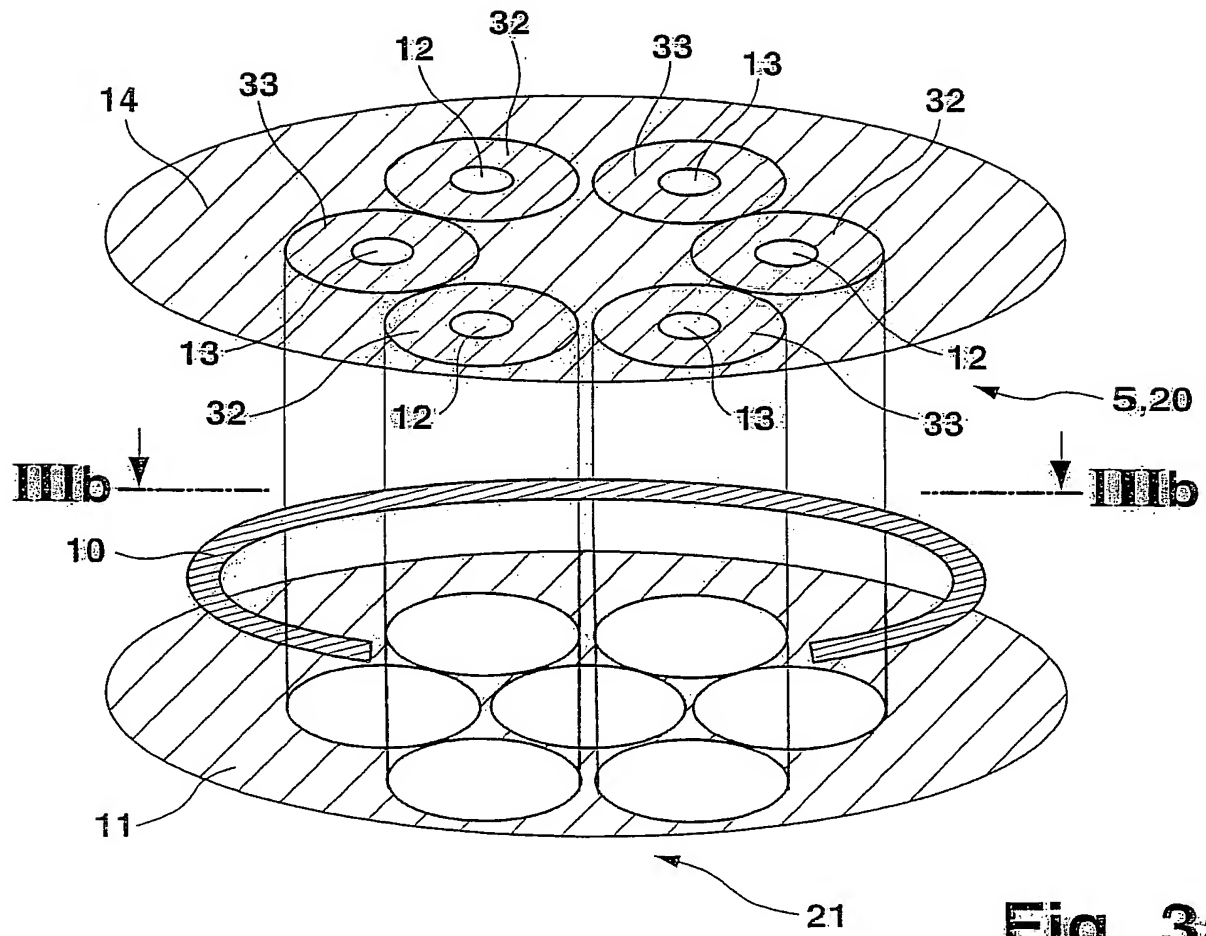


Fig. 3a

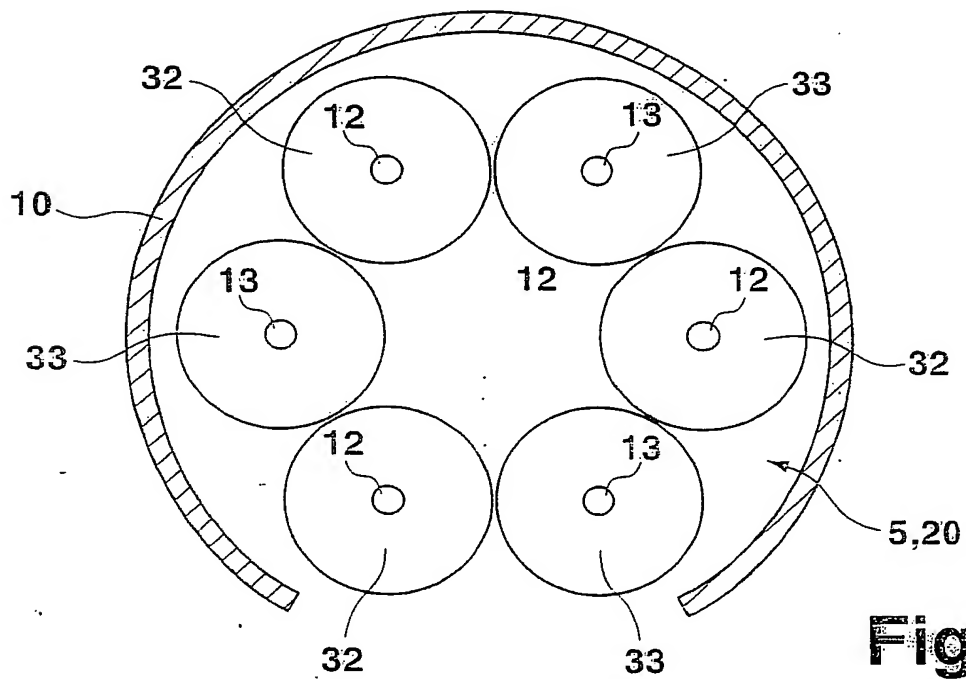


Fig. 3b

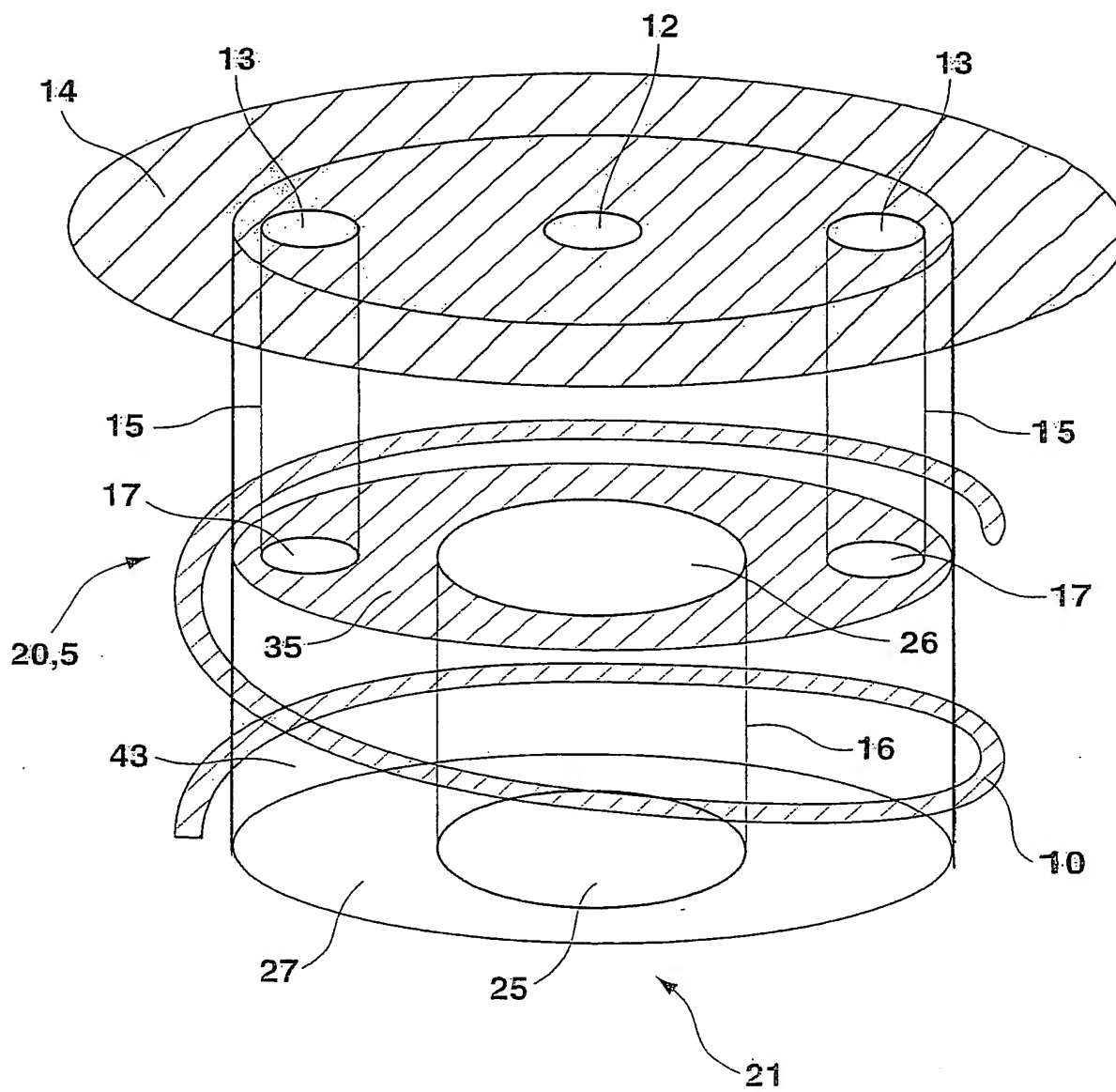


Fig. 4

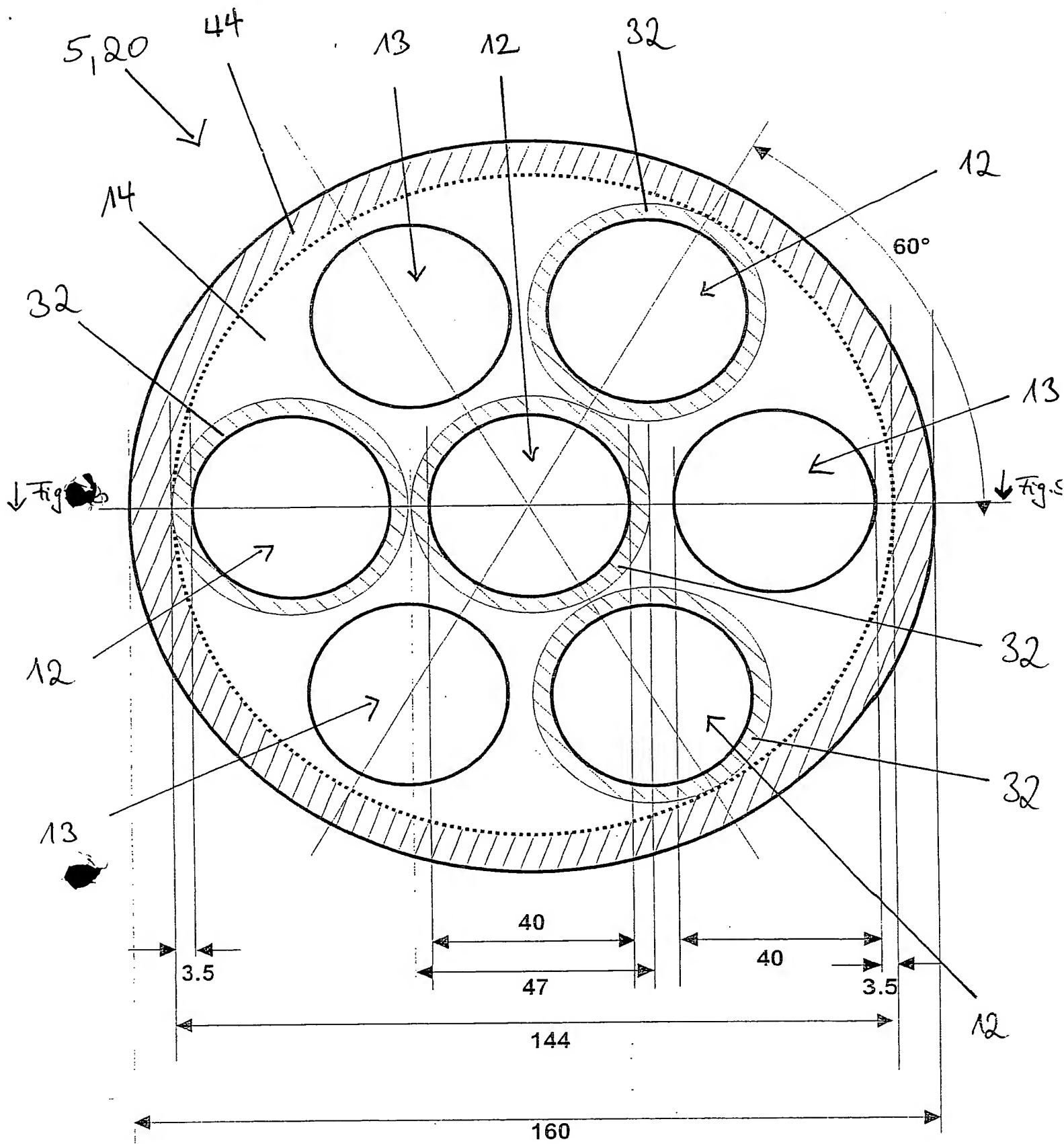


Fig. 5a

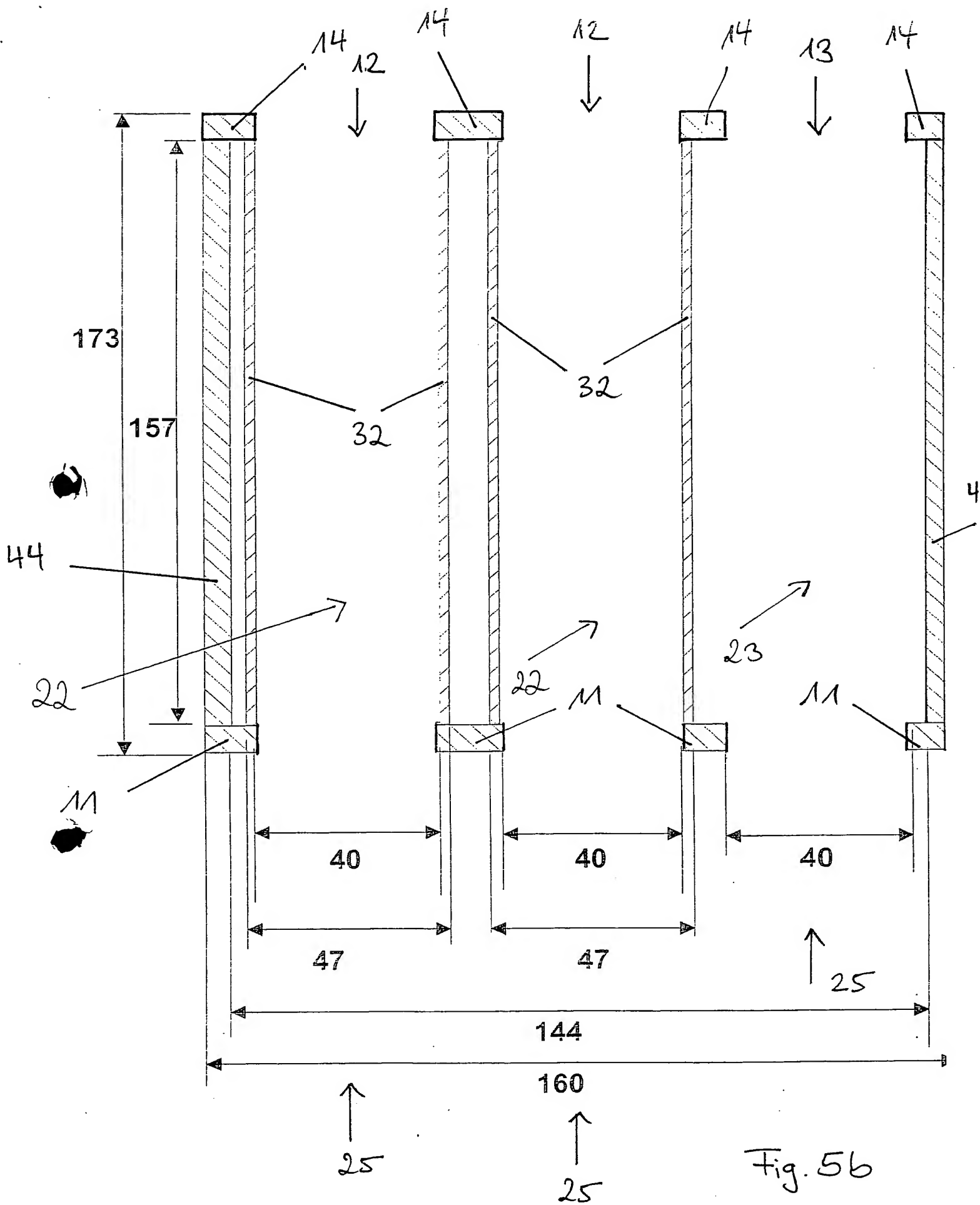


Fig. 56

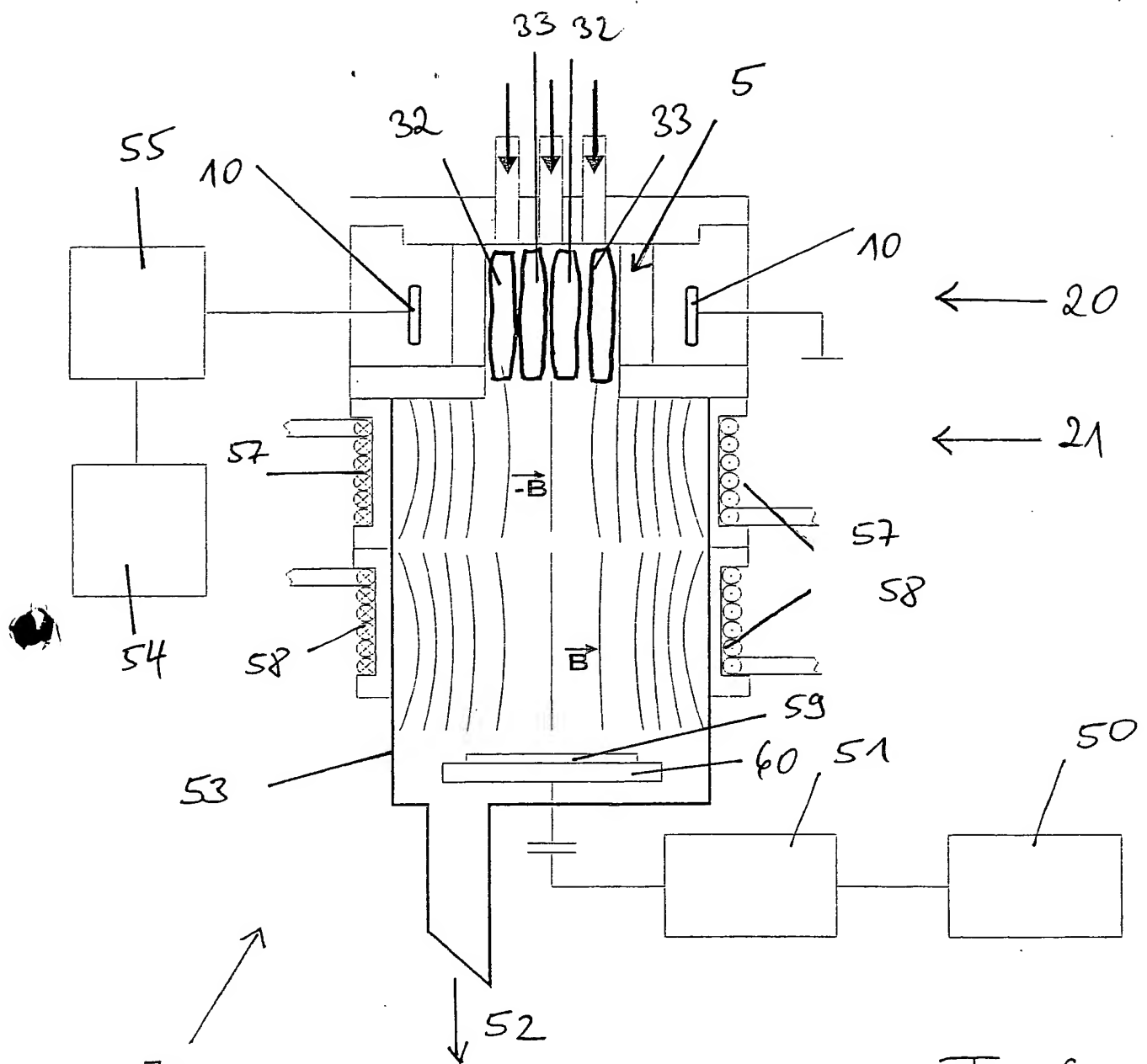


Fig. 6

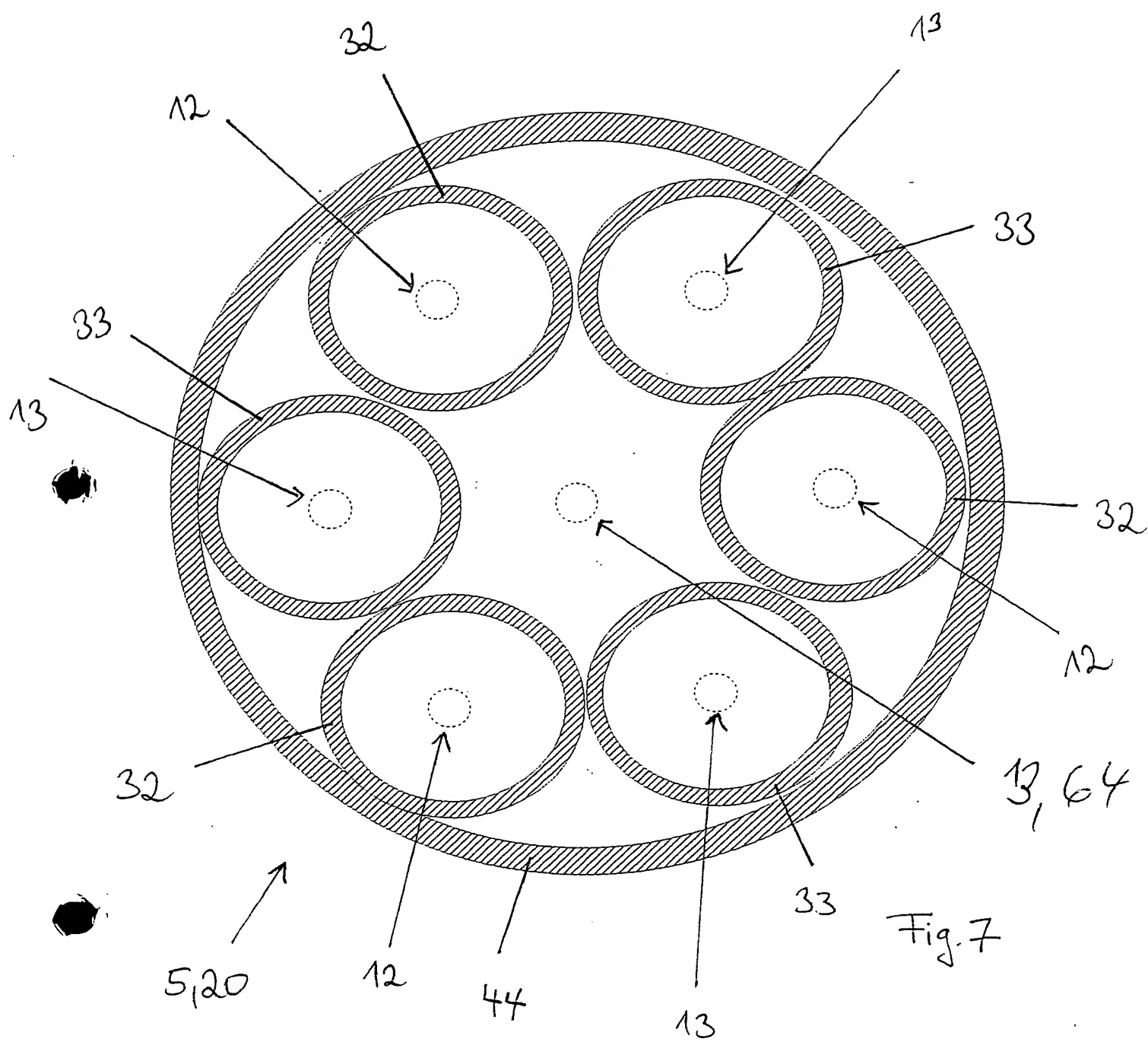


Fig. 7

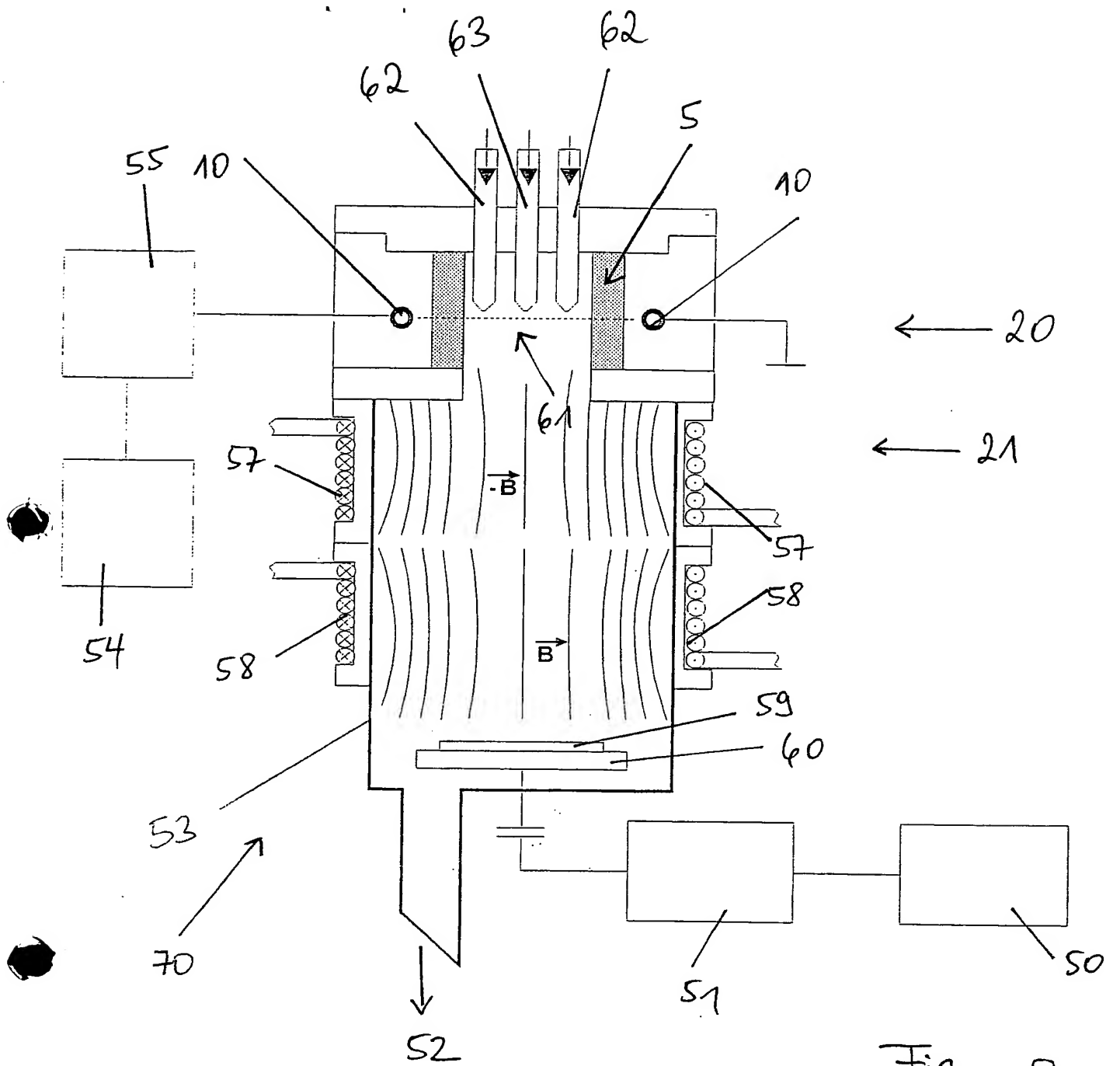


Fig. 8